



Universidad de Chile
Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas
Departamento Ciencia de los Alimentos y Tecnología Química

“Revisión bibliográfica de compuestos fenólicos, su efecto en la salud, métodos de encapsulación y digestión simulada *in vitro*”

Memoria para optar al título de Ingeniero en Alimentos

Por
Francisca Sol Rojas Muñoz

Director de Tesis y Profesor patrocinante:
Dra. Paz Robert Canales

Departamento de Ciencia de los Alimentos y Tecnología Química,
Universidad de Chile

Santiago, Chile
2021

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, Mónica y Raúl, por su apoyo incondicional en todos los pasos que doy, su cariño y constante preocupación. Por enseñarme valores, los que me han permitido ser la persona que soy hoy en día.

A mis hermanos menores, por su alegría, su amor y por hacerme reír. Por hacer que quiera superarme cada día más, para ayudarles y estar con ellos en cada etapa de su camino.

A mi segunda familia Camilo y Benjamín, mi apoyo y fuerza diaria. En especial a Camilo, que me ha enseñado a mirar hacia el futuro, a no rendirme y a confiar en mis capacidades. Por impulsarme a alcanzar cualquier meta que me proponga. Por su amor incondicional y su paciencia. A Benjamín por su gran corazón y por hacer que los días sean divertidos, por ser una distracción en tiempos de estrés.

A mis tíos Marcela y Jorge, por hacer posible que estudiara la carrera sin preocupaciones. Por siempre apoyarme cuando lo necesito y apoyar a mis hermanos también.

A mis tías y abuela, por su alegría constante, por enseñarme a ver la vida de una manera positiva y enseñarme a que somos fuertes, capaces e inteligentes.

A mis amigas de infancia, las que, a pesar del tiempo y de la distancia, siguen siendo parte de mi vida y de mis historias. Por alegrarse de mis logros y celebrarlos conmigo.

A aquellos que se fueron sumando en el camino, amigos de Universidad, gracias por ser un apoyo fundamental en esta etapa, hicieron que este recorrido fuera mucho más divertido. Por todas las anécdotas y risas que hemos compartido y por los malos momentos que nos han unido.

A la Doctora Paz Robert, quien ha sido una gran profesora, pero por sobre todo una gran guía. Por su disposición y paciencia y sobre todo por su alegría y buena onda. Una profesora comprometida y dedicada.

A la Universidad de Chile, en especial a la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas, por otorgarme todas las herramientas que necesito para emprender mi camino laboral.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	ii
RESUMEN.....	vii
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 POLIFENOLES.....	1
1.2 ESTRUCTURA DE LOS POLIFENOLES	1
1.2.1. Ácidos fenólicos	2
1.2.2. Flavonoides	3
1.2.2.1. Isoflavonas	4
1.2.2.2. Flavonas, flavonoles y flavanonas	4
1.2.2.3. Flavanoles y Proantocianidinas.....	5
1.2.2.4. Antocianidinas	6
1.2.3. Estilbenos.....	7
1.2.4. Lignanos	7
1.3. BENEFICIOS DE LOS POLIFENOLES EN LA SALUD	7
1.3.1. Polifenoles y enfermedad cardiovascular	8
1.3.2. Polifenoles y microbiota	8
1.3.3. Diabetes y polifenoles.....	9
1.3.4. Cáncer y polifenoles	9
1.3.5. Enfermedades neurodegenerativas y polifenoles	9
1.4. MECANISMOS DE ACCIÓN.....	10
1.4.1. Actividad antioxidante	10
1.4.2. Quelantes de metales	11
1.5. FUENTE DE POLIFENOLES	12
1.5.1. Frutas.....	13
1.5.2. Vegetales	14
1.5.3. Cereales	15
1.5.4. Cacao.....	15
1.5.5. Té.....	16
1.5.6. Vino	16
1.5.7. Desechos agroindustriales.....	16
1.6. MÉTODOS ANALÍTICOS DE POLIFENOLES	18
1.6.1. Extracción	19

1.6.2.	Separación y caracterización	20
1.7.	ESTABILIZACIÓN DE POLIFENOLES	20
1.7.1.	Encapsulación	20
1.7.2.	Encapsulación de polifenoles.....	22
1.7.3.	Secado por atomización (Spray drying)	22
1.7.4.	Materiales de recubrimiento en secado por atomización	25
1.7.5.	Digestión <i>in vitro</i>	25
2.	OBJETIVOS.....	27
	Objetivos.....	27
□	General	27
□	Específicos.....	27
3.	METODOLOGÍA.....	27
□	Descripción	28
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	30
4.1.	ESTABILIZACIÓN DE POLIFENOLES	30
4.1.1.	Microencapsulación de polifenoles	30
4.1.2.	Microencapsulación de polifenoles mediante secado por atomización.....	32
4.1.2.1.	Diseño de experimento en secado por atomización	36
4.1.2.2.	Variables independientes estudiadas	37
4.1.2.3.	Variables dependientes estudiadas	38
4.1.2.4.	Modelos de optimización.....	41
4.1.3.	Simulación digestiva <i>in vitro</i> de micropartículas de polifenoles obtenidas mediante secado por atomización.	41
4.1.3.1.	Simulación del pH en la digestión	42
4.1.3.2.	Simulación del pH, enzimas y sales en la digestión.....	42
A)	Seguimiento de la liberación de compuestos fenólicos totales en condiciones de digestión simulada	43
B)	Seguimiento de la liberación de compuestos fenólicos individuales en condiciones de digestión simulada	45
4.2.	TENDENCIA DE POLIFENOLES ENCAPSULADOS EN PRODUCTOS ALIMENTARIOS	48
4.2.1.	Micropartículas producidas mediante secado por atomización adicionadas a alimentos.....	49
4.2.2.	Digestión <i>in vitro</i>	51
5.	CONCLUSIONES	52

6. BIBLIOGRAFÍA.....	53
7. ANEXOS.....	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura química general de los flavonoides	1
Figura 2. Estructura química de los ácidos fenólicos más comunes en los alimentos.....	3
Figura 3. Estructura química de los flavonoides (Manach, 2004).....	4
Figura 4. Estructura química de las isoflavonas.	4
Figura 5. Estructura química de flavonas, flavonoles y flavanonas.	5
Figura 6. Estructura química trans de la catequina.	6
Figura 7. Estructura química cis de la epicatequina	6
Figura 8. Estructura química de las antocianidinas.	6
Figura 9. Estructura química del resveratrol	7
Figura 10. Estructura química del secoisolariciresinol.....	7
Figura 11. Formación del radical flavínico por la captura de radicales libres por los polifenoles (A), Reacción de Fenton (B). Fuente: Quiñones et al., 2011.	12
Figura 12. Contenido total de polifenoles en diferentes tipos de berries. Fuente: Tylewicz et al., 2018.	14
Figura 13. Esquema de los diferentes sistemas de encapsulación a) reservorio, b) matriz inclusiva, c) sistema mixto, d) aglomerados. Fuente: López, 2012.....	21
Figura 14. Mini Secador spray-drying (Fuente: Buchi, 2021).	23
Figura 15. Componentes de un equipo de secado por atomización (Fuente: GEA, 2021)	24
Figura 16. Metodología del estudio (Elaboración propia).	27
Figura 17. Porcentajes de uso de los distintos métodos de encapsulación en los últimos 5 años. (*Gelificación: iónica, inducida por calor e interna. * Extrusión: por goteo, en húmedo y simple). Elaboración propia.	31
Figura 18. Número de trabajos que encapsularon polifenoles utilizando secado por atomización en los últimos 5 años, correspondiente a 70 artículos.	32
Figura 19. Agentes encapsulantes utilizados para encapsulación de polifenoles por secado por atomización, en los últimos 5 años.....	33
Figura 20. Variables independientes estudiadas en diseños de experimentos para la encapsulación de polifenoles por secado por atomización, en los últimos 5 años.	38
Figura 21. Variables dependientes estudiadas en diseños de experimentos para la encapsulación de polifenoles por secado por atomización, en los últimos 5 años.	40

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de algunos compuestos fenólicos considerando el número de carbonos en su estructura.	2
Tabla 2. Fuentes mayoritarias de polifenoles en la dieta humana.	12
Tabla 3. Principales compuestos antioxidantes presentes en subproductos de origen vegetal.	17
Tabla 4. Información obtenida mediante “polyphenols microencapsulation”, correspondiente a 133 artículos.	64
Tabla 5. Información obtenida mediante “polyphenols microencapsulation” + “spray drying”, correspondiente a 75 artículos.	78
Tabla 6. Autores que utilizaron un diseño de experimento en microencapsulación por secado por atomización en los últimos 5 años.	89
Tabla 7. Variables estudiadas en los diseños de experimento realizados por secado por atomización en los últimos 5 años.	90
Tabla 8. Variables estudiadas en los diseños experimentales para la encapsulación de polifenoles por secado por atomización, en los últimos 5 años.	92
Tabla 9. Información obtenida mediante “polyphenols microencapsulation” + “spray drying” + “in vitro digestion”, correspondiente a 13 artículos.	93
Tabla 10. Tendencias de polifenoles en alimentos, correspondiente a 28 artículos.	95

RESUMEN

Hoy en día los consumidores están preocupados de mantener una dieta y un estilo de vida saludable. Así, la demanda de ingredientes en base a compuestos fitoquímicos naturales y que promueven la salud para la formulación de alimentos funcionales han aumentado.

Los polifenoles son micronutrientes presentes en plantas y alimentos de origen vegetal. Ellos desempeñan un papel importante en la salud humana debido a sus propiedades antioxidantes relacionándose con menores riesgos de enfermedades crónicas como lo son el cáncer, enfermedades cardiovasculares, inflamación crónica y enfermedades neurodegenerativas. Sin embargo, los polifenoles son inestables a factores ambientales (temperatura, el oxígeno y la luz), a condiciones del alimento donde se encuentran (interacción con ingredientes) y a condiciones adversas en la digestión gastrointestinal cuando son consumidos (pH y enzimas). El objetivo principal de este trabajo fue analizar la literatura en relación a la encapsulación como un método de estabilización de polifenoles, estudiar los métodos de encapsulación utilizados enfatizando en secado por atomización y analizar los estudios de digestión simulada *in vitro* de micropartículas de polifenoles.

La revisión bibliográfica fue obtenida mediante la base de datos de Biblioteca/Universidad de Chile: ISI-Web of Science utilizando las palabras claves “polyphenols microencapsulation”, “polyphenols microencapsulation + spray drying” y “polyphenols microencapsulation + spray drying + *in vitro* digestion”. Se seleccionaron artículos de los últimos 5 años (2017-2021) hasta junio del 2021, que consideran Food Science and Technology.

Al buscar las palabras claves “polyphenols microencapsulation” se encontraron 133 artículos, donde los métodos de encapsulación más utilizados fueron el secado por atomización (spray drying) y la liofilización (freeze drying) con un 50,7% y 20,9% de uso respectivamente. En cuanto a la búsqueda de “polyphenols microencapsulation + spray drying” de los 70 artículos encontrados el 38,7% utilizó maltodextrina como agente encapsulante, 20,7% utilizó goma arábiga y 6,3% utilizó almidón normal o modificado como agente encapsulante. Además, las variables independientes más estudiadas fueron la temperatura del aire de entrada y la concentración del agente encapsulante, y las variables dependientes más estudiadas fueron el contenido total de polifenoles, la actividad antioxidante y el rendimiento de la encapsulación.

Dentro de los estudios encontrados mediante “polyphenols microencapsulation + spray drying + *in vitro* digestion” (13 artículos) se reportaron 2 condiciones gastrointestinales (pH y pH + enzimas + sales), donde se siguieron los polifenoles totales, y/o los polifenoles individuales. Por último, dentro de los 133 artículos encontrados mediante “polyphenols microencapsulation” se seleccionaron y estudiaron aquellos que incorporaron micropartículas de polifenoles en productos alimentarios, obteniendo 28 artículos, de los cuales 12 utilizaron secado por atomización como método de encapsulación. Sin embargo, sólo uno estudió la liberación de los compuestos fenólicos desde las micropartículas presentes en el alimento en la digestión *in vitro* simulada, lo que indica que faltan estudios en esta materia para determinar cuánto de estos compuestos fenólicos son liberados y absorbidos en un sitio específico, y así poder desarrollar alimentos saludables con un efecto beneficioso para la salud.

ABSTRACT

Today consumers are concerned with maintaining a healthy diet and lifestyle. Thus, the demand for ingredients based on natural and health-promoting phytochemicals for the formulation of functional foods has increased.

Polyphenols are micronutrients occurring in fruits, vegetables and plant-based foods. They play an essential role in human health due to their antioxidant properties, associated with lower risks of chronic diseases such as cancer, cardiovascular diseases, chronic inflammation and neurodegenerative diseases. However, polyphenols are unstable to environmental factors (temperature, oxygen and light), food conditions (interaction with ingredients) and digestion conditions (pH and enzymes). The main objective of this work was to analyze the literature about encapsulation as a polyphenol stabilization method, considering the encapsulation methods of polyphenols emphasizing spray drying and the digestion *in vitro* of encapsulated polyphenols.

The bibliographic review was obtained through the Library/University of Chile database: ISI-Web of Science using the keywords "polyphenols microencapsulation", "polyphenols microencapsulation + spray drying" and "polyphenols microencapsulation + spray drying + in vitro digestion". Articles were selected from the last 5 years (2017-2021) until June 2021, considering Food Science and Technology.

The search was conducted using "polyphenols microencapsulation" as a keyword (133 articles), where spray drying and lyophilization (freeze-drying) were the most used encapsulation methods with 50.7% and 20.9%, respectively. Regarding the search for "polyphenols microencapsulation + spray drying", 70 articles were found, of which 38.7% used maltodextrin, 20.7% used Arabic gum, and 6.3% used starch or modified starch. In addition, the most studied independent variables were the inlet air temperature, the content of the encapsulating agent, and the most studied dependent variables were the total polyphenol content, antioxidant activity and encapsulation performance.

The search using "polyphenols microencapsulation + spray drying + in vitro digestion" gave 13 articles. In these studies, digestion *in vitro* was performed (pH and pH + enzymes + salts), following either total polyphenols or individual polyphenols. Finally, among the total articles "microencapsulation polyphenols" (133), those that incorporated polyphenol microparticles in food matrixes were 28 articles, of which 12 articles used spray drying as an encapsulation method. However, only one study analyzed the release of phenolic compounds from microparticles in simulated *in vitro* digestion, indicating that studies in this area are scarce; however, they are necessary to develop healthy foods with a beneficial effect on health.

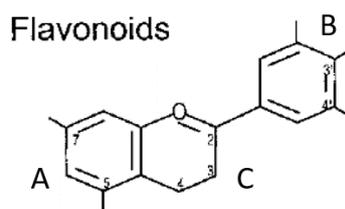
1. INTRODUCCIÓN

1.1 POLIFENOLES

Los polifenoles son micronutrientes presentes en plantas y alimentos de origen vegetal, originados como producto de su metabolismo secundario para cumplir tanto funciones fisiológicas como funciones de defensa ante situaciones de estrés y estímulos diversos (Quiñones et al., 2011). Los polifenoles son consumidos en la dieta humana y los podemos encontrar tanto en frutas como en verduras, en diversas concentraciones. La diversidad de polifenoles ha dado lugar a diferentes formas de categorizar estos compuestos naturales, de esta manera los polifenoles pueden clasificarse según su origen, función biológica y estructura química (Tsao, 2010).

1.2 ESTRUCTURA DE LOS POLIFENOLES

Los compuestos fenólicos poseen una característica estructural común llamada fenol (un anillo aromático con al menos un grupo hidroxilo) y se pueden sintetizar por dos rutas: desde el ácido siquímico y desde los poliacetatos (Quiñones et al., 2011). Estos compuestos pueden ser clasificados en función del número de anillos de fenol que contienen y de los elementos estructurales que unen estos anillos entre sí. Dentro de los grupos más importantes podemos encontrar a los ácidos fenólicos, flavonoides, estilbenos y lignanos. Por su parte los flavonoides comparten una estructura común que consta de dos anillos aromáticos (A y B) unidos por tres átomos de carbono que forman un heterociclo oxigenado (Anillo C) (**Figura 1**) (Manach et al., 2004). Según el tipo de heterociclo formado pueden dividirse en 6 subclases: flavonas, isoflavonas, flavanonas, flavanoles, antocianidinas y flavonoles (catequinas y proantocianidinas) (Manach et al., 2004).



See Figure 2

Figura 1. Estructura química general de los flavonoides

En la siguiente tabla se observan algunos polifenoles según la cantidad de carbonos en su estructura.

Tabla 1. Clasificación de algunos compuestos fenólicos considerando el número de carbonos en su estructura.

Nº de Carbonos	Nombre de la estructura
C ₆	Fenoles
C ₆ -C ₁	Ácidos hidroxibenzoicos
C ₆ -C ₃	Ácidos hidroxicinámicos, cumarinas, isocumarinas y cromonas
C ₆ -C ₂ -C ₆	Estilbenos, antraquinonas
C ₆ -C ₃ -C ₆	Flavonoides: flavanonas, flavonoles, antocianidinas, flavanoles, flavonas e isoflavonas.
(C ₆ -C ₃) ₂	Lignanos
(C ₆ -C ₃ -C ₆) _n	Proantocianidinas
(C ₆ -C ₃) _n	Ligninas

1.2.1. Ácidos fenólicos

Los ácidos fenólicos pueden ser divididos en dos grupos principales: ácidos benzoicos y ácidos cinámicos basados en cadenas principales C₆-C₁ y C₆-C₃ (Tsao, 2010). Ambos son sintetizados a partir del aminoácido aromático L-fenilalanina por la ruta del ácido siquímico (García, 2012). Los ácidos fenólicos se encuentran a menudo en forma ligada pudiendo ser liberados o hidrolizados mediante hidrólisis ácida o alcalina, o mediante enzimas (Tsao, 2010).

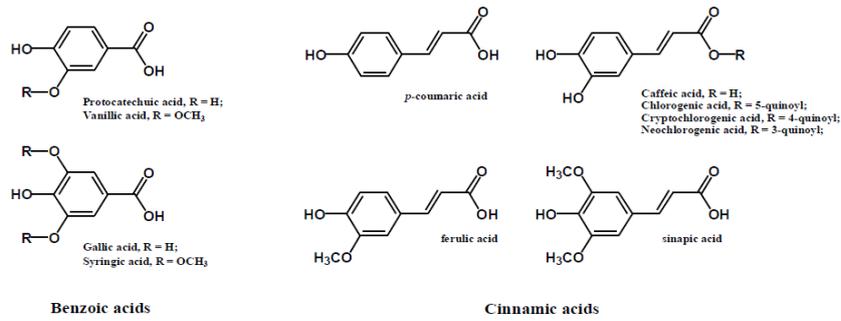
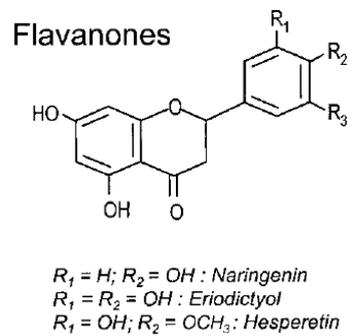
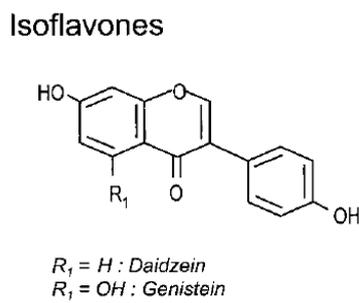
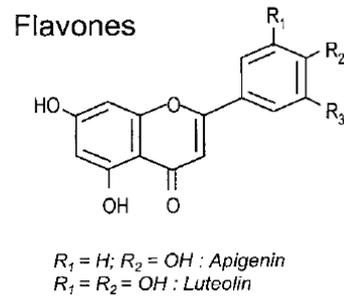
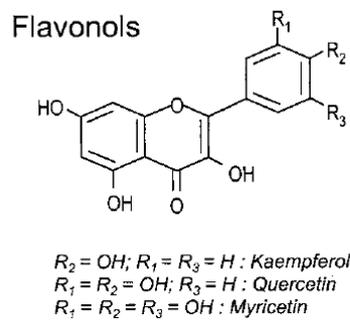


Figura 2. Estructura química de los ácidos fenólicos más comunes en los alimentos (Tsao, 2010).

1.2.2. Flavonoides

La estructura general de los flavonoides es C₆-C₃-C₆, donde las dos unidades de C₆ (Anillo A y anillo B) son de naturaleza fenólica. Es debido a las variaciones del anillo cromano (Anillo C) que los flavonoides pueden dividirse en seis grupos diferentes (Tsao, 2010).



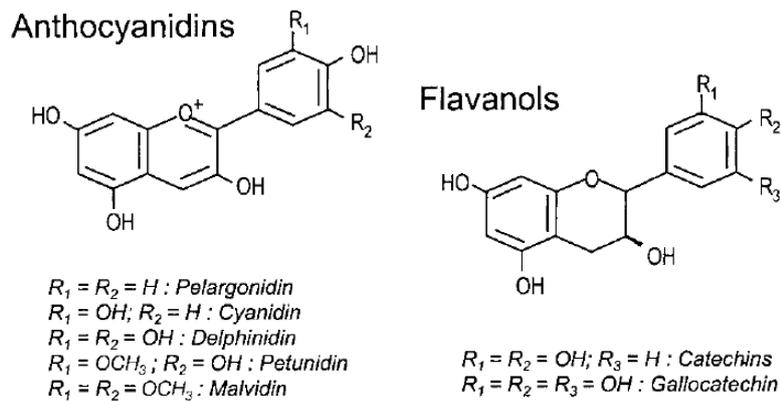


Figura 3. Estructura química de los flavonoides (Manach, 2004)

1.2.2.1. Isoflavonas

Las isoflavonas tienen su anillo bencénico lateral (Anillo B) unido en posición 3 del anillo C. En su estructura tienen grupos hidroxilo en los carbonos C7 y C4' al igual que sucede en la estructura molecular estriol lo que hace que las isoflavonas tengan una estructura similar a la de los estrógenos (Quiñones et al., 2011). Esta configuración les confiere propiedades pseudo hormonales, incluida la capacidad de unirse a los receptores de estrógenos, por lo que se clasifican como fitoestrógenos (Manach et al., 2004).

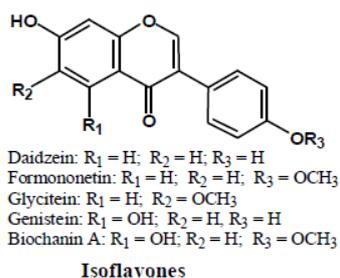


Figura 4. Estructura química de las isoflavonas.

1.2.2.2. Flavonas, flavonoles y flavanonas

Las flavonas y sus tres derivados flavonoides, incluidos sus glucósidos, metóxidos y otros productos acilados en los tres anillos, hacen de este subgrupo el más grande entre todos los polifenoles. Este subgrupo de flavonoides son los más comunes y están presentes en mayor cantidad en el alimento (Tsao, 2010).

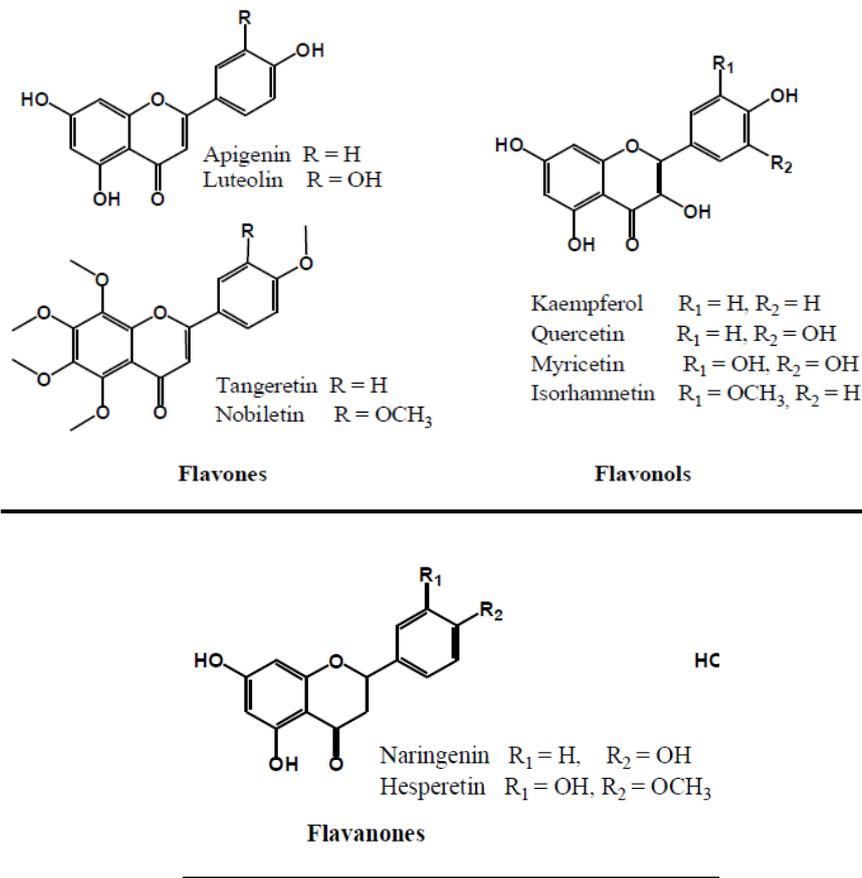


Figura 5. Estructura química de flavonas, flavonoles y flavanonas.

1.2.2.3. Flavanoles y Proantocianidinas

Los flavanoles también llamados catequinas tienen una estructura diferente a la mayoría de los flavonoides, ya que no tienen doble enlace entre el C2 y el C3, y además no tienen el carbonilo en C4 del anillo C. Esto y la hidroxilación de C3 permite que los flavanoles tengan dos centros quirales en la molécula (C2 y C3) y por lo tanto cuatro posibles diastereoisómeros. Como se muestra en la figura 6, la catequina tiene configuración *trans* y la epicatequina tiene configuración *cis* (figura 7) (Tsao, 2010).

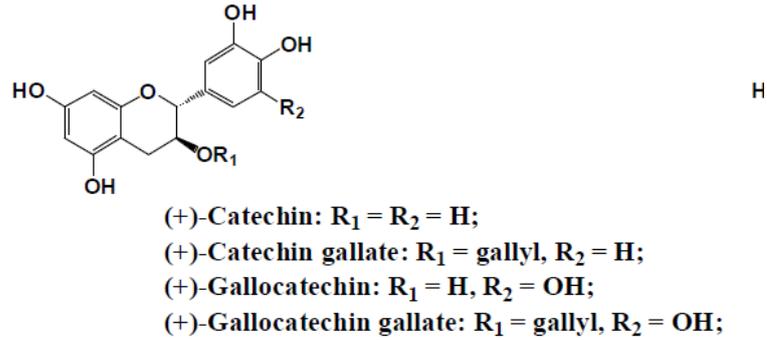


Figura 6. Estructura química trans de la catequina.

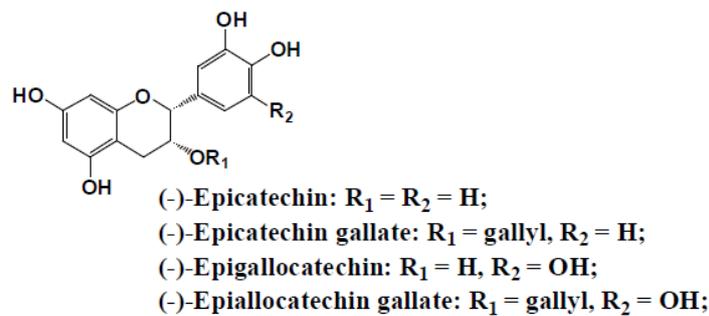


Figura 7. Estructura química cis de la epicatequina

1.2.2.4. Antocianidinas

Las antocianidinas en las plantas existen principalmente en forma glicosilada y se conocen comúnmente como antocianinas. Se conocen más de 500 antocianinas dependiendo de la hidroxilación y patrones de metoxilación en el anillo B y glicosilación con diferentes unidades de azúcar (Tsao, 2010).

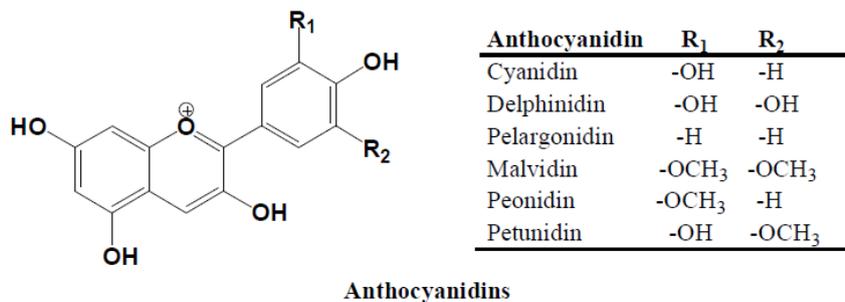


Figura 8. Estructura química de las antocianidinas.

1.2.3. Estilbenos

Los estilbenos se encuentran en pequeñas cantidades en la dieta humana. Uno de los más destacados es el resveratrol que ha sido estudiado ampliamente por sus efectos anticancerígenos (Manach et al., 2004).

Stilbenes

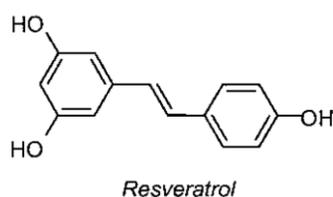


Figura 9. Estructura química del resveratrol

1.2.4. Lignanos

Los lignanos están formados por dos unidades de fenilpropano (figura 10). Se encuentran en frutas, verduras y mayoritariamente en la linaza. Los lignanos son metabolizados a enterodiol y enterolactona por la microflora intestinal (Manach et al., 2004).

Lignans

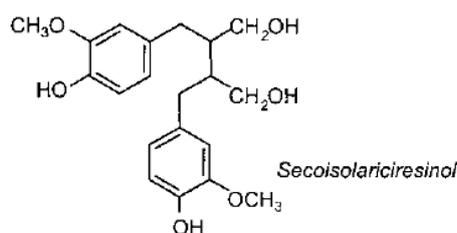


Figura 10. Estructura química del secoisolariciresinol

1.3. BENEFICIOS DE LOS POLIFENOLES EN LA SALUD

Detrás de muchas enfermedades crónicas se encuentran procesos de estrés oxidativo mediados por radicales libres. Este estrés se podría definir como un desequilibrio entre los pro-oxidantes y/o radicales libres y los sistemas antioxidantes del organismo. El efecto de los radicales libres como lo son el anión superóxido, radical hidroxilo, peroxilo, peróxido de hidrógeno, hidroperóxidos y peroxinitritos sobre el organismo puede causar daño celular, el que puede ser producido indirectamente por el deterioro oxidativo en ácidos grasos insaturados y ADN. Para defenderse ante estos radicales, el organismo tiene un sistema de defensa que incluye enzimas y neutralizadores o captadores de radicales libres. Algunos captadores que encontramos en la dieta corresponden a vitaminas (E y C),

enzimas (superóxido dismutasa, glutatión peroxidasa, entre otros) y polifenoles (Barberán, 2003). Diversos estudios han demostrado que los polifenoles dietéticos desempeñan un rol importante en la salud humana. La ingesta elevada de frutas, verduras y cereales integrales ricos en polifenoles se ha relacionado con menores riesgos de enfermedades crónicas como lo son el cáncer, enfermedades cardiovasculares, inflamación crónica y enfermedades neurodegenerativas (Tsao, 2010). Estos efectos se vinculan principalmente con sus propiedades antioxidantes que también pueden justificar sus acciones vasodilatadoras, vasoprotectoras, antilipídicas, antitrombóticas, antiinflamatorias y anti apoptóticas (Quiñones et al., 2011). El estudio de Carga Mundial de Morbilidad informó que el principal factor de riesgo a nivel global es el factor alimentario, donde las principales enfermedades relacionadas son: cardiovasculares, cáncer y diabetes (SMI, 2013). Por lo tanto, es posible que una dieta rica en polifenoles mejore la salud de las personas que los consumen y disminuya la incidencia de estas enfermedades. Sin embargo, hay que considerar que los efectos positivos sobre la salud de los polifenoles se relacionan y dependen de la cantidad consumida y de su biodisponibilidad (Manach et al., 2004).

1.3.1. Polifenoles y enfermedad cardiovascular

Las enfermedades cardiovasculares son una de las principales causas de muertes en el mundo. Numerosos estudios han avalado el efecto de los polifenoles sobre el sistema cardiovascular que está relacionado directamente con sus propiedades antioxidantes. Estos compuestos presentan efectos vasodilatadores, son capaces de atenuar la oxidación de las lipoproteínas de baja densidad, además mejoran el perfil lipídico y son capaces de modular procesos de apoptosis en el endotelio vascular (Quiñones et al., 2011).

1.3.2. Polifenoles y microbiota

Diversos estudios indican que los polifenoles más abundantes en nuestra dieta no son necesariamente los que tienen mejores perfiles de biodisponibilidad (Losada y Bravo, 2017), siendo estos difícilmente absorbidos en el intestino delgado, sin embargo, en el colon estas moléculas pueden biotransformarse y ser absorbidas por la microbiota intestinal. En efecto, se sugiere que los polifenoles tienen efectos prebióticos asociados en gran medida con el asentamiento de bacterias probióticas o con la supresión de bacterias patógenas. Estudios recientes indicaron que el aumento de la dosis de prebióticos conduce a cambios importantes en las colonias bacterianas de la microbiota

intestinal. Aravind et al. (2021) indicaron que uno de los beneficios de los polifenoles como prebióticos es que éstos pueden mejorar el crecimiento y el establecimiento de la familia de bacterias probióticas como *Bifidobacteriaceae* y *Lactobacillaceae* e inhibir bacterias patógenas como *E. coli*, *Clostridium prefringens* y *Helicobacter pylori*.

1.3.3. Diabetes y polifenoles

El efecto positivo de los polifenoles también se ha relacionado con la diabetes tipo 2. Una dieta rica en frutas y verduras con alto contenido en polifenoles se ha asociado indirectamente con la prevención de la diabetes, sin embargo, el estudio de alimentos ricos en polifenoles para mejorar la diabetes tipo 2 en humanos no ha sido tan exitoso como en estudios *in vitro*. Se ha sugerido que los polifenoles pueden mejorar características importantes de la diabetes al inhibir las disacaridasas, reduciendo así la absorción de azúcares simples. Además, considerando que la obesidad y la diabetes tipo 2 están relacionadas con un alto grado inflamatorio, se ha propuesto que los polifenoles a través de sus efectos antiinflamatorios pueden bloquear las vías de proteína quinasa y la expresión de citocinas inflamatorias (Anhe et al., 2013).

1.3.4. Cáncer y polifenoles

Estudios preclínicos, clínicos y epidemiológicos han demostrado el potencial terapéutico y preventivo de polifenoles frente al cáncer. Algunos polifenoles que destacan son las antocianinas, epicatequina, resveratrol, entre otros. La curcumina es otro compuesto fenólico que muestra efectos antioxidantes, antiinflamatorios y anticancerígenos. Se han demostrado sus efectos quimiopreventivos en varios tumores mediados por inducción de apoptosis. Sajadimajd et al. (2020) indicaron que estudios han revelado los efectos anti metastásicos de nanopartículas recubiertas de quitosano con curcumina *in vitro* e *in vivo* mediante la supresión de viabilidad celular e inducción de apoptosis. Por otro lado, los efectos anticancerígenos del resveratrol se han examinado en estudios preclínicos sobre piel, mamas, próstata y pulmón.

1.3.5. Enfermedades neurodegenerativas y polifenoles

Los trastornos neurodegenerativos son un grupo diverso de enfermedades que involucran al sistema nervioso incluido el cerebro, médula espinal y nervios periféricos. Estas enfermedades se caracterizan por la degradación de regiones del cerebro como consecuencia de procesos hereditarios tóxicos, metabólicos o infecciosos (Losada, y

Bravo, 2017). Algunos de los aspectos patológicos de enfermedades como Parkinson, Alzheimer y Esclerosis lateral amiotrófica son el daño oxidativo de moléculas neuronales, la acumulación de iones de hierro en el cerebro y la disminución de la reserva de antioxidantes (Ebrahimi y Schluesener, 2012). Es por esto que se han estudiado diversos polifenoles contra enfermedades neurodegenerativas y sus mecanismos de acción. Sin embargo, su actividad frente a estas enfermedades depende de diversos factores entre ellos la biodisponibilidad y reactividad química frente a especies reactivas al oxígeno (ROS) (Losada y Bravo, 2017).

1.4. MECANISMOS DE ACCIÓN

1.4.1. Actividad antioxidante

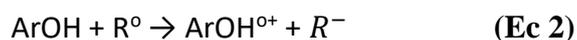
Los polifenoles son fuertes antioxidantes y contribuyen en mayor cantidad a la actividad antioxidante en frutas con respecto a la vitamina C (Tsao, 2010). Un antioxidante puede ser definido como cualquier sustancia que cuando se presenta en bajas concentraciones comparado con un sustrato oxidable, retrasa o previene significativamente la oxidación de ese sustrato (Halliwell, 1995). La función de los antioxidantes entonces es reaccionar con los radicales libres a un ritmo más rápido que el sustrato, y dado que los radicales libres pueden atacar a una gran variedad de sustratos incluyendo lípidos y proteínas, es que se cree que están implicados en una serie de importantes enfermedades degenerativas, incluyendo el envejecimiento (Wright et al., 2001). Los dos principales mecanismos a través de los cuales los antioxidantes pueden desempeñar su función protectora son por transferencia de un átomo de H (ecuación 1) y/o la transferencia de un electrón (ecuación 2) (Leopoldini et al., 2011).

En el primer mecanismo, el antioxidante fenólico ArOH reacciona con el radical libre R^{*} por transferencia del átomo de H a través de una ruptura homolítica del enlace O-H.



ArO[•] es capaz de estabilizarse por deslocalización del electrón en la molécula, de tal forma que los productos de esta reacción (RH y ArO[•]) se consideran inofensivos ya que son menos reactivos con respecto a R[•].

En el segundo mecanismo ocurre la donación de un electrón del radical R[•] según la siguiente ecuación:

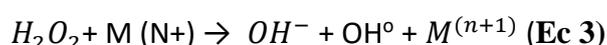


Donde el anión R^- es una especie estable, mientras que el catión $ArOH^{o+}$ es también en este caso, menos reactivo que la especie radical R^o . En particular los productos ArO^o y $ArOH$ son estructuras aromáticas en que el electrón impar, originado por las reacciones con el radical libre, tiene la posibilidad de extenderse por toda la molécula pudiendo estabilizarse por resonancia (Wright et al., 2001; Leopoldini et al., 2004).

Los flavonoides, por ejemplo, tienen la capacidad de donar electrones debido a la presencia de anillos aromáticos que son susceptibles a sufrir desapareamiento de electrones por desplazamiento del sistema π . El potencial antioxidante de los flavonoides depende del número y posición de los grupos hidroxilo, así como de la presencia de grupos dadores de electrones en su estructura química (Delgado, 2015).

1.4.2. Quelantes de metales

Los polifenoles, además de su acción sobre los radicales libres, se conocen también como quelantes de metales (Tsao, 2010). Este mecanismo consiste en que los antioxidantes tienen la capacidad de quelar metales de transición dando lugar a compuestos complejos estables. De esta manera los polifenoles evitan que los metales participen en reacciones generando radicales reactivos, como por ejemplo en la reacción de Fenton (Ecuación 3), donde se generan especies reactivas de oxígeno (ROS), como el OH^o , uno de los radicales más reactivos (Leopoldini et al., 2011).



Los flavonoides, por ejemplo, actúan como tampones y capturan radicales libres para generar el radical flavínico, mucho menos reactivo (figura 12). Además, flavonoles como la quercetina pueden quelar iones metálicos de transición como el hierro y cobre, evitando así la formación de especies reactivas de oxígeno (ROS) (Quiñones et al., 2011).

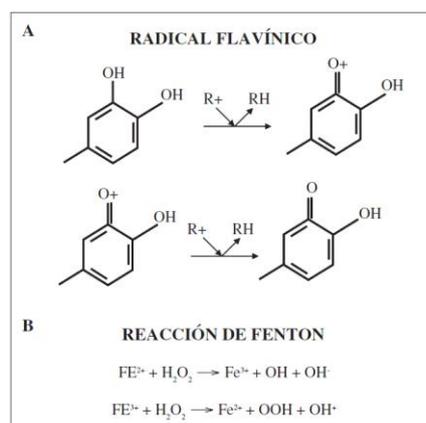


Figura 11. Formación del radical flavínico por la captura de radicales libres por los polifenoles (A), Reacción de Fenton (B). Fuente: Quiñones et al., 2011.

1.5. FUENTE DE POLIFENOLES

En el reino vegetal se pueden distinguir cuatro grupos de compuestos fitoquímicos: (1) sustancias fenólicas, (2) sustancias terpénicas, (3) sustancias azufradas y (4) sustancias nitrogenadas (alcaloides) (Barberán, 2003). Los compuestos fenólicos o polifenoles son un grupo muy numeroso de sustancias y su contenido cualitativo y cuantitativo es diferente para cada especie vegetal (tabla 2). El cacao, la uva, el té y diversas bayas destacan por su alto contenido de polifenoles (Trillo, 2015).

Tabla 2. Fuentes mayoritarias de polifenoles en la dieta humana.

Polifenoles	Fuente vegetal
Ácidos fenólicos	
Ácidos Hidroxicinámicos	Albaricoques, arándanos, berenjenas, cereales, cítricos, cerezas, ciruelas, espinacas, melocotones, oleaginosas, peras, tomates, zanahorias.
Ácidos Hidroxibenzoicos	Arándanos, cereales, oleaginosas
Flavonoides	
Antocianinas	Arándanos, cerezas, fresas, grosellas, uvas
Chalconas	Manzanas
Flavonoles	Arándanos, cebolla, lechuga, manzanas, uva
Flavanonas	Cítricos
Flavonoles	Arándanos, alforfón, cerezas, cebollas, endibia, judías, lechugas, manzanas, olivas, puerros, pimientos, tomates
Flavonas	Apio, cítricos, espinacas, perejil
Isoflavonas	Soja
Taninos	
Condensables	Ciruelas, mangos, manzanas, melocotones, peras, uvas,
Hidrolizables	Frambuesas, granadas

Fuente: Trillo, 2015.

Los polifenoles son un componente importante en frutas y verduras debido a su contribución en las características organolépticas como el sabor y color, además de sus propiedades nutricionales (Hasna, 2009). Ejemplo de esto son las antocianinas responsables de los tonos rojos, azules y violáceos característicos de muchas frutas como fresas, ciruelas, uvas y hortalizas como berenjena y rábano. Por otro lado, encontramos los flavonoles que otorgan una tonalidad crema-amarillenta. En cuanto al sabor hay polifenoles que otorgan amargor, como determinadas flavonas de los cítricos (naringina de los pomelos y neohesperidina de las naranjas amargas) o la oleuropeína presente en aceitunas. Los derivados de ácido hidroxicinámicos, como caféico, ferúlico y sinápico, están presentes en un buen número de frutas y hortalizas y alimentos derivados, y en algunos casos constituyen los polifenoles mayoritarios. Aunque no tienen un impacto directo sobre las características organolépticas de los alimentos que los contienen. Por otro lado, las proantocianidinas, taninos condensados y taninos hidrolizables les otorgan astringencia a los frutos y, por último, algunos fenoles sencillos tienen importancia en el aroma de determinadas frutas, como el eugenol en los plátanos (Barberán, 2003).

1.5.1. Frutas

Los polifenoles en frutas se encuentran tanto en el fruto, como en la piel, semillas y hojas y sus cantidades dependen de diversos factores como lo son las condiciones de cultivo, el tipo y la variedad de fruta y la madurez de ésta. Existen frutas que destacan por su contenido de polifenoles. La manzana, por ejemplo, es una fruta que contiene cerca de 85% de agua, 14% de carbohidratos, incluyendo fibra y azúcares, vitaminas, minerales, y polifenoles. La manzana contiene alrededor de 296,3 mg GAE/100 g de compuestos fenólicos solubles, principalmente en forma libre (Tylewicz et al., 2018). Los principales polifenoles de la manzana son los flavonoides, ácidos hidroxibenzoicos y ácidos hidroxicinámicos y sus derivados (Tylewicz et al., 2018).

Los berries, especialmente arándanos, moras, fresas, frambuesas, uvas negras, son fuentes importantes de una amplia variedad de polifenoles. Los berries contienen ácidos fenólicos (ácido hidroxibenzoico y hidroxicinámico), flavonoides como flavonoles (quercetina, kaempferol, miricetina), flavanoles (catequinas), antocianinas (glucósidos de cianidina y de pelargonidina) y taninos (proantocianidinas, elagitaninos). Las antocianinas son responsables del color de estos frutos y se encuentran principalmente en la piel. La

siguiente figura presenta el contenido total de polifenoles en algunos berries (Tylewicz et al., 2018).

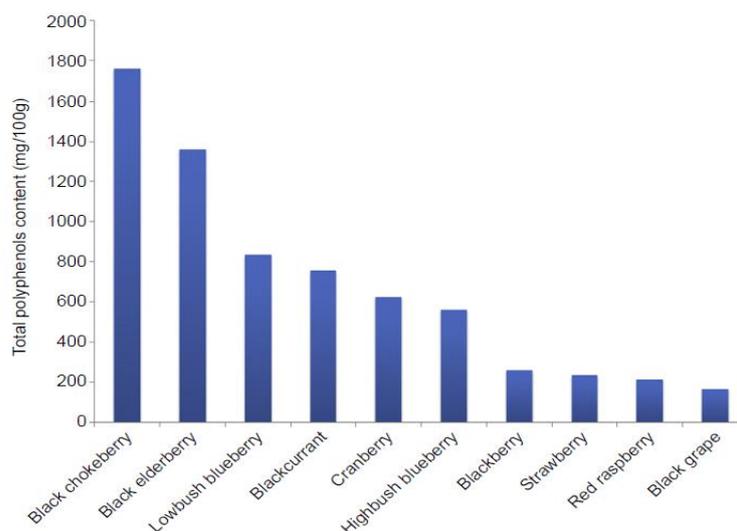


Figura 12. Contenido total de polifenoles en diferentes tipos de berries. Fuente: Tylewicz et al., 2018.

Las naranjas se caracterizan por su alto contenido en vitaminas A, B y C, minerales, potasio, fibra dietética y fitoquímicos. Entre los fitoquímicos presentes destacan flavonoides como también los ácidos fenólicos (ácido ferúlico, ácido vainílico, ácido cafeico) y carotenoides. El contenido total de fenoles en frutas de naranja oscila entre 31,0 y 217 mg GAE/100 g (Tylewicz et al., 2018).

1.5.2. Vegetales

Los vegetales son partes comestibles de las plantas (tallos, raíces, tubérculos, hojas, frutos, semillas) que en general se consumen crudas o cocidas. Los compuestos fenólicos en el tejido vegetal están presentes en forma libre y enlazada. La mayoría de las verduras se caracterizan por un mayor contenido de polifenoles en forma libre, que supera el 50% del total de compuestos fenólicos. Coles, zanahorias y patatas contienen más del 30% de polifenoles ligados, lo que aumenta su valor nutricional bioactivo.

Los polifenoles en las patatas están presentes tanto en la pulpa como en la piel, conteniendo más del 50% de todos los polifenoles presentes en el tubérculo. Cabe destacar que del 100% de los polifenoles de la papa, la mayoría pueden incluirse en el grupo de los ácidos fenólicos. En este grupo los que se encuentran en mayor cantidad son los ácidos hidroxicinámicos y su cantidad varía entre 170-190 mg/Kg peso fresco (Tylewicz et al., 2018).

Los tomates además de ser apreciados por su alto contenido de carotenoides, también lo son por su contenido de polifenoles. Según Anton et al. (2017) el contenido de polifenoles de los tomates aumenta durante la maduración y el incremento depende de la variedad de la planta. Entre los polifenoles que más abundan en el tomate se encuentran la naringenina, chalcona, rutina, quercetina y ácidos hidroxicinámicos. La concentración de estos compuestos varía de 0,1 a 18,2 mg /100 g peso fresco y se encuentran principalmente en la piel del tomate (Tylewicz et al., 2018).

Las cebollas por otro lado tienen un impacto beneficioso sobre la salud. La quercetina es el principal compuesto polifenólico presente en cebollas además del kaempferol, miricetina y catequina.

1.5.3. Cereales

Los cereales son parte importante de una dieta variada. Los cereales más conocidos son el maíz, el trigo y el arroz, y en menor grado la cebada, el sorgo, la avena y el centeno. Los cereales integrales destacan en su contenido de polifenoles, carotenoides, vitamina E y fibras dietéticas. Los polifenoles en cereales no se distribuyen por igual, la concentración fenólica total es mayor en sus capas externas. Los granos de trigo, por ejemplo, contienen principalmente ácidos fenólicos como ácidos hidroxibenzoicos siendo el ácido ferúlico el principal ácido fenólico presente en este grano de cereal en concentraciones de alrededor 1000 µg/g peso en seco. Los flavonoides también están presentes en el trigo representados por la apigenina y la luteolina (Tylewicz et al., 2018).

1.5.4. Cacao

El cacao y sus productos son un alimento de consumo habitual en todo el mundo. En el cacao, se han identificado alrededor de 380 sustancias químicas y 10 de ellas son compuestos psicoactivos. Los granos de cacao son fuentes ricas en polifenoles y su contenido es aproximadamente del 6% al 8% de materia seca total de semillas de cacao. Los principales grupos de polifenoles que se encuentran en los granos de cacao son los flavonoides como epicatequina (0,12 a 2,83 mg/g), catequina (0,040 a 0,90 mg/g) y procianidinas. Las epicatequinas representan hasta un 35% del contenido total de polifenoles, mientras que la catequina, galocatequina y epigalocatequina están presentes en cantidades más pequeñas. Las procianidinas constituyen aproximadamente el 60% del contenido de polifenol total (Tylewicz et al., 2018).

1.5.5. Té

El té se caracteriza por un alto contenido de polifenoles, que son los responsables de su actividad antioxidante y su beneficio para la salud humana. Los polifenoles más comunes en las hojas de té son los flavanoles generalmente conocidos como catequinas. El perfil de polifenoles en las hojas de té depende del procesamiento, la variedad, la zona y la época en que se cosecha. El té verde es un té suavemente procesado donde se inactiva la enzima polifenol-oxidasa, preservando así el perfil de polifenoles. De hecho, el perfil de catequina en té verde representa hasta el 85% del total de los polifenoles originalmente presentes en las hojas del té y en general la concentración total de catequina oscila entre 12,3 y 136,3 mg/ g (Tylewicz et al., 2018).

1.5.6. Vino

El vino se caracteriza por sus beneficios en la salud y por sus altos niveles de polifenoles. Esto es debido a que las uvas contienen una gran cantidad de compuestos fenólicos diferentes lo que se ve representado en su perfil de polifenoles, el cual depende de la variedad de la uva utilizada, además de las condiciones climáticas, la tecnología utilizada entre otras variables. Los vinos tintos generalmente contienen hasta 3500 mg/L de compuestos fenólicos, de los cuales 1000 mg/L se clasifican como flavonoides. Dentro de este grupo los más comunes son: los flavonoles (quercetina, kaempferol y miricetina), flavanoles (catequina y epicatequina), taninos y antocianinas y proantocianidinas (Tylewicz et al., 2018).

1.5.7. Desechos agroindustriales

La transformación de los productos agrícolas se ha convertido en parte importante de los procesos industriales dentro de muchas empresas hortofrutícolas (Wilmer et al., 2010). Sin embargo, la generación de residuos, subproductos o desechos son una de las causas de la contaminación ambiental de aguas, suelos y atmósfera. Estos subproductos pueden ser fuente importante de diversos compuestos como fibras, proteínas, pigmentos y antioxidantes los que pueden ser potencialmente útiles, aplicando tecnologías que otorguen un valor agregado a los desechos agroindustriales (Berragrán et al., 2008). Los desechos agroindustriales son una oportunidad para la industria de alimentos al considerar estos desechos como materia prima para producir alimentos innovadores con propiedades importantes para la salud (Tylewicz et al., 2018). Conscientes de esta problemática y de la posible oportunidad, investigadores han dedicado sus esfuerzos a evaluar las diversas

propiedades y usos de descartes con el fin de darles un segundo uso además de mitigar el impacto ambiental (Wilmer et al., 2010). Investigadores también han buscado posibles aplicaciones industriales que puedan representar beneficios económicos para la industria al utilizar todo el tejido de frutas y hortalizas. En Chile, particularmente la industria de los berries, ha sido foco de investigación por el reconocido contenido de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante de estos frutos. Estos compuestos se encuentran presentes en todo el fruto, por lo tanto, los residuos y descartes del procesamiento también pueden contenerlos (Zuñiga, 2007). La palta otro alimento producido en Chile y exportado también, se procesa para obtener aceite, pulpa y/o trozos, generando grandes cantidades de subproductos como semilla y cáscara (alrededor del 40%) los que podrían contener compuestos bioactivos como carotenoides y compuestos fenólicos. Como un esfuerzo para investigar esto Urra et al. (2015) establecieron la capacidad antioxidante de residuos (cáscara y semilla) de la agroindustria procesadora de palta Hass en Chile. Por otro lado, debido a que la composición de fitoquímicos presenta modificaciones dependiendo de los procesos físicos y químicos a los cuáles se sometan las frutas y hortalizas (Ruales et al., 2017) es que, es necesario realizar estudios cualitativos y cuantitativos, que permitan determinar la viabilidad de un residuo como materia prima de compuestos fenólicos. Ruales et al. (2017) evaluaron la caracterización química de residuos generados en el cultivo y en la producción de pulpa de uva Isabella (*Vitis labrusca*), en términos de compuestos fenólicos totales y capacidad antioxidante. En la tabla 3 se detallan algunos de los principales compuestos antioxidantes presentes en subproductos de origen vegetal en los últimos 7 años.

Tabla 3. Principales compuestos antioxidantes presentes en subproductos de origen vegetal.

Vegetal	Sub-Producto	Compuesto bioactivo antioxidante
Palta	Cáscaras y semillas	Catequinas, procianidinas y taninos condensados.
Carambola	Orujo	Ácido L-ascórbico, epicatequina, formas de ácido gálico y proantocianidinas
Betarraga	Pomasa	BEtaláinas, catequina, epicatequina, ferúlico, protocatúxico, vanílico, p-cumárico y p-hidroxibenzoico

Uva	Orujo	Quercetina, kaempferol, miricetina, catequinas, epicatequinas, antocianinas, resveratrol.
Manzana	Pomasa	Procianidinas, flavonoles, dihidrochalconas, ácidos hidroxicinámicos, catequinas.
Arándano	Orujo	Antocianinas, flavonoles, flavan-3-ols, estilbenos, procianidinas, taninos, vitaminas y ácidos fenólicos.
Naranja	Cáscaras	Flavonoides, ácidos fenólicos y terpenos como el D-limoneno.
Tomate	Pomasa	Licopeno, betacarotenos, ácidos fenólicos, flavonoides.
Aceituna	Alperujo	Oleuropeína, hidroxitirosol, pirogalol, catecol, ácido elágico y benzoico.
Granada	Cáscaras y semillas	Ácido elágico, flavonoides (quercetina, kaempferol) y punicalagina.
Cebolla	Escamas	Quercetina, kaempferol, miricetina, ácido naringénico, ácido ferúlico, ácido elágico.
Acerola	Orujo	Ácido clorogénico, antocianinas, flavonoides, carotenoides.
Zanahoria	Orujo	Compuestos fenólicos (ácido clorogénico, ácido cafeico, catequina y epicatequina) y carotenoides.
Papa	Piel	Ácidos fenólicos (ácido clorogénico y ácido cafeico), flavonoides.

(Fuente: Castromonte et al., 2020)

Para aprovechar estos compuestos, es necesario concentrarlos mediante la elaboración de extractos, siendo las extracciones con agua y etanol las que más se han estudiado en los últimos años. Sin embargo, la pérdida de su estabilidad una vez fuera de su matriz biológica ante condiciones ambientales y de almacenamientos es uno de los principales problemas de reutilizar estos compuestos. Una de las tecnologías que puede ayudar a resolver este problema es la encapsulación de extractos de subproductos agroindustriales en diversas matrices (Castromonte et al., 2020). Orujo de uva, orujo de granada, hueso de aceituna y piel de cereza son algunos de los subproductos que han sido microencapsulados por diversos autores en los últimos 5 años (Tolun et al., 2020; Turrini et al., 2020; Nakilcioğlu-Tas y Otlis, 2019; Milea et al., 2019, respectivamente).

1.6. MÉTODOS ANALÍTICOS DE POLIFENOLES

El gran interés que existe por los polifenoles y sus propiedades antioxidantes y benéficas para la salud ha dado lugar al desarrollo de diversos métodos analíticos dentro de los que destacan las etapas de extracción, separación y cuantificación (Consuegra, 2014). Antes de la extracción de los polifenoles es importante que las muestras que contienen estos

compuestos sean recolectadas, conservadas y preparadas adecuadamente para minimizar la pérdida de los compuestos de interés, ya que es posible que la exposición de las materias primas a temperatura, luz y oxígeno pueda degradar los polifenoles nativos. Por lo que a menudo se añaden antioxidantes como el butilhidroxitolueno (BHT) y/o ácido ascórbico a las muestras para evitar la oxidación de los polifenoles (Tsao, 2010).

1.6.1. Extracción

La extracción de polifenoles de la matriz vegetal es una etapa determinante y las técnicas más utilizadas para esta etapa son la extracción con solventes orgánicos y la extracción con fluidos supercríticos, donde generalmente se produce la co-extracción de otros compuestos como azúcares, ácidos orgánicos y proteínas, por lo que se necesita de procesos posteriores de purificación (Consuegra, 2014). En cuanto a la extracción con solventes orgánicos esta es la técnica más utilizada y puede ser de dos tipos (1) líquido-líquido si la muestra se encuentra en estado líquido (vinos, aceites y jugos de fruta) o (2) sólido-líquido si la muestra está en estado sólido (hojas, frutos, tallos, algas) (Consuegra, 2014). La naturaleza fenólica de los polifenoles hace que sean relativamente hidrófilos, por lo que los polifenoles libres, que incluyen agliconas, glúcidos y oligómeros, se extraen utilizando agua, disolventes orgánicos polares como metanol, etanol, acetonitrilo y acetona. Sin embargo, los polifenoles que no están en forma libre como el ácido ferúlico y los lignanos en granos deben ser hidrolizados con ácido o base para liberar los compuestos fenólicos (Tsao, 2010). Por lo tanto, es en función del tipo de muestra y de la naturaleza de los compuestos a extraer el tipo de disolvente y las condiciones de la extracción a utilizar. De hecho, los polifenoles pueden clasificarse en polifenoles extraíbles y polifenoles no extraíbles. Los primeros se solubilizan en los disolventes y los segundos quedan retenidos en el residuo resultante de la extracción acuosa-orgánica (Lluva, 2019).

Por otro lado, la extracción con fluidos supercríticos, con CO₂ específicamente, ha sido descrita como una alternativa al uso de solventes orgánicos. Otros métodos de extracción descritos incluyen el ultrasonido y la extracción asistida por enzimas los cuales pueden ser un complemento a extracciones convencionales, mejorando los rendimientos y disminuyendo el tiempo de extracción, energía y cantidad de solventes (Tsao, 2010).

1.6.2. Separación y caracterización

Los métodos cromatográficos permiten la separación de los componentes de una mezcla compleja para su posterior identificación y determinación (Lluva, 2019). Con el fin de cuantificar e identificar con precisión los polifenoles individuales, es que se ha utilizado la cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC). Sin embargo, los compuestos fenólicos de mayor masa molecular (polifenoles poliméricos) se han determinado mediante la utilización de técnicas analíticas más complejas como HPLC unido a espectrometría de masas con ionizador por electrospray (HPLC-ESI-MS/MS) (Lluva, 2019). Como es sabido, la cromatografía líquida es la técnica más utilizada para la separación de compuestos fenólicos. En esta técnica se utilizan comúnmente columnas C18 en fase reversa con un sistema binario de disolvente (fase móvil) que consiste en agua acidificada y un solvente orgánico polar.

1.7. ESTABILIZACIÓN DE POLIFENOLES

1.7.1. Encapsulación

La encapsulación se define como un proceso que consiste en atrapar una sustancia denominada agente activo dentro de un biopolímero denominada material de pared. La sustancia encapsulada es llamada núcleo, fase interna o compuesto activo y la sustancia en la que se encapsula suele denominarse revestimiento, material de recubrimiento, agente encapsulante, fase externa o matriz (Serna y Torres, 2017). Los materiales de recubrimiento se pueden seleccionar entre una amplia variedad de polímeros naturales o sintéticos según las características del material a recubrir y las características deseadas en las microcápsulas o micropartículas finales (Covarrubias, 2018). Los materiales de recubrimiento utilizados para alimentos son diversos y se pueden usar puros o mezclados. Algunas de las categorías que podemos encontrar son: carbohidratos (almidones, quitosano, maltodextrinas), celulosas (carboximetil celulosa, metil celulosa), gomas (goma acacia, agar, alginato de sodio, carragenina), lípidos y proteínas (gluten, caseína, péptidos, aislado proteico de soya, concentrado proteico de suero de leche). Dependiendo del agente activo, del material de recubrimiento y de la tecnología utilizada, se pueden obtener diversos sistemas de encapsulación tal como muestra la figura 13.

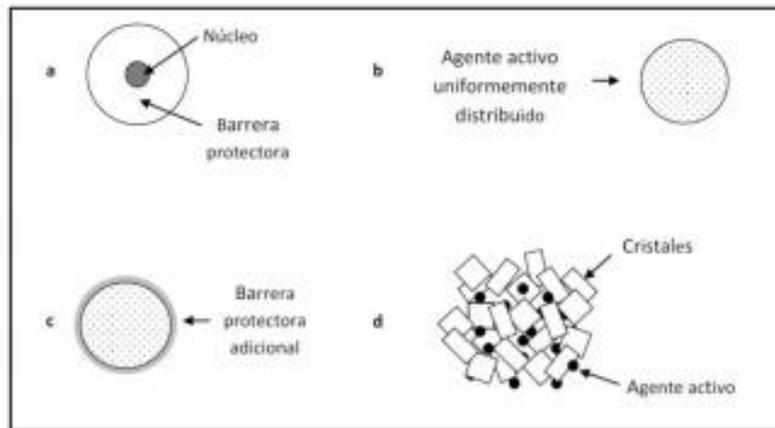


Figura 13. Esquema de los diferentes sistemas de encapsulación a) reservorio, b) matriz inclusiva, c) sistema mixto, d) aglomerados. Fuente: López, 2012.

Donde los reservorios (a) o sistema núcleo-capa externa, consisten en un sistema donde el material activo se encuentra en el interior y en el exterior un recubrimiento llamado material encapsulante o material muralla, el cual puede estar formado por una o varias capas concéntricas. El sistema de matriz inclusiva (b) consiste en una mezcla homogénea del ingrediente activo y el material encapsulante donde parte del compuesto activo se encuentra en la superficie de la cápsula. El sistema mixto (c) por otro lado, es obtenido adicionando una capa extra sobre los sistemas antes mencionados para aumentar la protección del agente activo o para retardar su liberación. En cuanto a los aglomerados (d), estos ofrecen una amplia área superficial para contener compuestos activos y mejorar la aptitud frente al almacenamiento (López, 2012). La encapsulación, puede considerarse como un método para estabilizar y mantener estables los compuestos activos bajo ciertas condiciones.

Dentro de los beneficios de la encapsulación se pueden mencionar diferentes objetivos:

- Proteger el compuesto activo de la degradación producida por el ambiente (temperatura, aire, luz y humedad) que limitan su eficiencia y reducen su vida útil (Peanparkdee y Iwamoto, 2020).
- Liberar controladamente el compuesto activo desde la matriz encapsulante bajo condiciones específicas (pH, temperatura, entre otros).
- Enmascarar sabores desagradables.
- Separar componentes con el fin de que éstos no interaccionen.
- Hacer más fácil la manipulación del producto original (López, 2012).

Dentro de la encapsulación podemos encontrar tanto la microencapsulación como la nanoencapsulación. La primera permite encapsular un compuesto dentro de pequeñas esferas conocidas como microesferas/microcápsulas, que tienen un diámetro medio desde 1 mm hasta varios cientos de micrómetros. Diversos materiales activos como enzimas, vitaminas, pesticidas, sabores y polifenoles han sido exitosamente encapsulados en microcápsulas hechas de una gran variedad de polímeros (Dubey et al., 2009). La nanoencapsulación se define como una tecnología para encapsular sustancias en el rango de la nano escala. Las nanopartículas son partículas de tamaño coloidal con diámetros que van de 10 a 1000 nm. Debido a su tamaño, la nanoencapsulación tiene el efecto de mejorar la biodisponibilidad, la liberación controlada y permitir la focalización de precisión de los compuestos bioactivos en una mayor extensión que la microencapsulación (Suganya y Anuradha, 2017).

1.7.2. Encapsulación de polifenoles

Debido a todas las características mencionadas anteriormente, es que la encapsulación ha sido una técnica ampliamente utilizada en el desarrollo de ingredientes para alimentos funcionales y nutracéuticos (López, 2012), y es una opción para la protección de polifenoles frente a condiciones ambientales (luz, calor y oxígeno), del alimento (pH, enzimas) y condiciones gastrointestinales (pH y enzimas). Sin embargo, no existe una técnica de encapsulación universal para todos los polifenoles, ya que cada componente tiene diferentes características. Es por esto que se han desarrollado y aplicado distintas técnicas para encapsular polifenoles (Peanparkdee y Iwamoto, 2020). Técnicas de secado, emulsificación, encapsulación por lisosomas y electropulverización son algunas de ellas.

1.7.3. Secado por atomización (Spray drying)

El secado por atomización corresponde a una operación unitaria mediante la cual un producto líquido (solución, emulsión o dispersión acuosa) es atomizado y secado en una corriente de gas caliente para obtener un polvo instantáneamente (Gharsallaoui et al., 2007).



Figura 14. Mini Secador spray-drying (Fuente: Buchi, 2021).

Esta tecnología es ampliamente usada en la industria alimentaria como método de secado, para disminuir el contenido de agua y así asegurar la estabilidad microbiológica de los productos y facilitar la manipulación del producto original. Además, es una de las tecnologías más utilizada para encapsular compuestos bioactivos ya que el equipo requerido para esta tecnología se encuentra presente en varias industrias y además porque los costos de producción son más bajos que la mayoría de los otros métodos.

El secado por atomización produce un polvo fino (10-50 μm) o partículas de gran tamaño (2-3 mm), dependiendo del líquido de alimentación y de las condiciones de funcionamiento (Gharsallaoui et al., 2007). La microencapsulación a través del secado por aspersión involucra cuatro pasos principales:

1. Atomización de la solución de alimentación
2. Mezclado con aire caliente
3. Secado del atomizado (transferencia de calor y masa)
4. Separación del polvo seco del aire

La solución de alimentación se prepara dependiendo de la naturaleza del compuesto bioactivo a encapsular, ya sea hidrofílico o hidrofóbico. Si el compuesto bioactivo es hidrofílico se disuelve el material de recubrimiento en un disolvente apropiado (por lo general agua) y en esa disolución se dispersa el compuesto activo (Berna, 2009). En el caso de los compuestos hidrofóbicos se elabora una emulsión de aceite-en-agua (o/w) formada por el compuesto bioactivo, un surfactante (lecitina de soya, tween-80 entre otros) y el polímero. Aunque en algunos casos el biopolímero puede actuar como agente

emulsificante. Por último, la emulsión es homogeneizada para obtener un tamaño de gota pequeño. En el primer paso la solución de alimentación es atomizada formando pequeñas gotas que en el segundo paso se mezclan con aire caliente. En el tercer paso ocurre la evaporación del solvente (generalmente agua) debido a la transferencia de calor que aumenta la temperatura de la gota y permite la evaporación del agua, la formación la costra y la retención del activo. En el cuarto paso se separan las micropartículas por medio de un ciclón (Gharsallaoui et al., 2007).

Un equipo de secado por atomización se compone, esencialmente de un sistema de alimentación del líquido, un dispositivo de atomización, que por lo general consiste en una boquilla de atomización o un disco rotatorio, una cámara de secado, un ciclón y un sistema colector del producto seco (Berna, 2009).

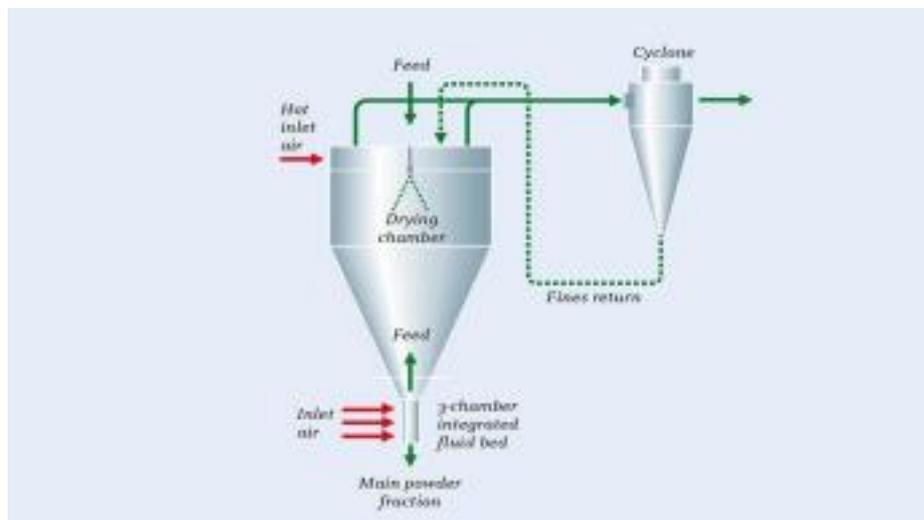


Figura 15. Componentes de un equipo de secado por atomización (Fuente: GEA, 2021)

Los principales factores que tienen relación directa con la eficiencia de la encapsulación son la temperatura del aire de entrada, la temperatura del aire de salida y la temperatura de alimentación (variables de proceso). Esto debido a que la temperatura de alimentación puede cambiar la viscosidad y fluidez de la emulsión, afectando su capacidad para ser pulverizada de forma homogénea. En cuanto a la temperatura del aire de entrada al secador, esta tiene una relación proporcional con la velocidad de secado de las micropartículas y el contenido de agua final. Cuando la temperatura de entrada es baja, la velocidad de evaporación del agua también y los polvos obtenidos tienen un mayor contenido de humedad. Por otro lado, variables de la formulación de la solución de entrada también se deben considerar, como: contenido de sólidos solubles, relación

activo/polímero, viscosidad y en caso de emulsiones, el tamaño de gota (Robert et al., 2017).

1.7.4. Materiales de recubrimiento en secado por atomización

La elección del material de recubrimiento en la encapsulación por secado por atomización es muy importante para la eficiencia de encapsulación, la estabilidad de las micropartículas y es que determina sus propiedades de liberación. Los criterios para seleccionar un agente encapsulante se basan principalmente en sus propiedades fisicoquímicas, su solubilidad, peso molecular, cristalinidad y propiedades emulsificantes (Gharsallaoui et al., 2007). Los carbohidratos, como la maltodextrina, inulina, almidones y gomas, se han utilizado comúnmente en procesos de encapsulación de diversos compuestos. La liberación controlada de un activo desde las micropartículas hacia un sitio-específico de la digestión simulada *in vitro*, también depende de la selección del agente encapsulante, es por esto que diversos autores han estudiado este efecto (González et al., 2020; Ahmadian et al., 2019; Canizales et al., 2019; Bernardes et al., 2019; Moreno et al., 2018; Fredes et al., 2018).

1.7.5. Digestión *in vitro*

Debido a que la gran mayoría de los polifenoles son moléculas inestables, es que la microencapsulación es una herramienta que otorga protección y además puede proporcionar un control sobre la liberación del compuesto activo en una matriz o un sitio-específico (García, 2012) como en el tracto gastrointestinal (Ramírez, 2013), donde su biodisponibilidad puede verse comprometida (González et al., 2019). Esto, debido a que en la digestión actúan diversas enzimas (de la boca, estómago e intestino) y diversos pH (~6 boca, ~ 2 estómago y ~ 7 intestino) creando un ambiente adverso para los polifenoles (Peanparkdee y Iwamoto, 2020).

Métodos estandarizados de digestión estáticos *in vitro*, simulan las fases cruciales del proceso de digestión (boca, estómago, intestino delgado y menos frecuentemente colon) que ocurren durante la digestión humana (Minekus et al., 2015). Estos métodos tienen la ventaja de ser más rápidos, de menor costo y sin restricciones éticas. Generalmente, se evalúa la bioaccesibilidad, liberación de compuestos bioactivos, capacidad antioxidante, tamaño de partícula, morfología a diferentes tiempos y condiciones (Peanparkdee y Iwamoto, 2020).

Peanparkdee y Iwamoto (2020) informó la pérdida de compuestos fenólicos en las distintas etapas de la digestión. En la primera fase, en donde se produce hidrólisis enzimática por acción de la enzima α -amilasa, hubo pérdida de polifenoles por la interacción entre las proteínas salivales y los polifenoles. En la segunda etapa destaca una disminución de polifenoles por las condiciones del estómago pH (1,2-2,0) y presencia de pepsinas y en la tercera etapa reporta disminución de polifenoles que puede asociarse al pH alcalino del líquido intestinal que afecta principalmente la bioaccesibilidad de los polifenoles durante la digestión intestinal.

Por lo tanto, en este trabajo se analizó la literatura en relación con la encapsulación como un método de estabilización de polifenoles, se revisaron los métodos de encapsulación utilizados y se analizó los estudios de digestión simulada *in vitro* de micropartículas de polifenoles.

2. OBJETIVOS

Objetivos

- **General**

Revisar la bibliografía en relación con los compuestos fenólicos, los métodos de encapsulación utilizados y los estudios de digestión simulada *in vitro* en los últimos 5 años en la base de datos de Biblioteca/Universidad de Chile: ISI-Web of Science.

- **Específicos**

- ✓ Analizar la información respecto a la estabilización de polifenoles utilizando la tecnología de microencapsulación, enfatizando en secado por atomización
- ✓ Analizar la información respecto a la digestión simulada *in vitro* de micropartículas de polifenoles elaboradas mediante secado por atomización.
- ✓ Analizar las tendencias de polifenoles encapsulados en productos alimentarios.

3. METODOLOGÍA

La figura 16, presenta el diseño de la metodología que se llevó a cabo en la revisión.

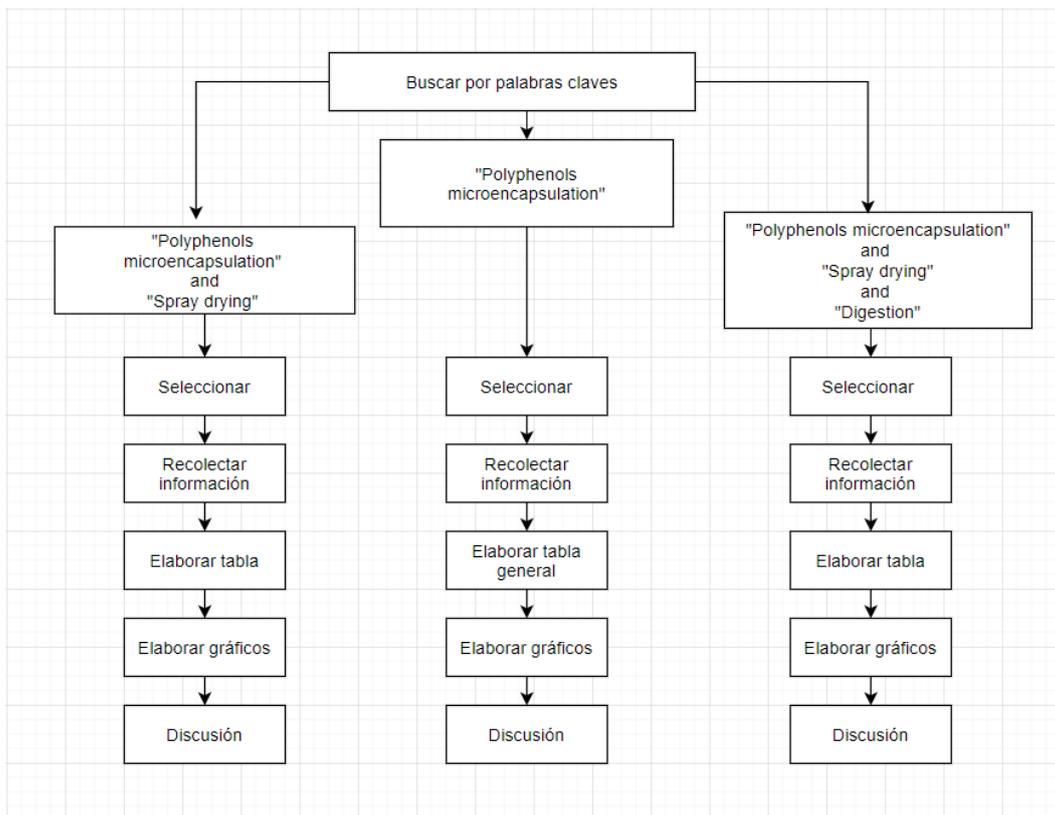


Figura 16. Metodología del estudio (Elaboración propia).

- **Descripción**

1. **Palabras claves:** la búsqueda de información se realizó en la página ISI Web of Science, utilizando las palabras claves: “polyphenols microencapsulation”; “polyphenols microencapsulation” + “spray drying”; y “polyphenols microencapsulation” + “spray drying” + “digestion”.
2. **Selección:** se seleccionó artículos de los últimos 5 años (2017-2021) hasta mayo del 2021, considerando Food Science and Technology.
3. **Revisión:** a partir de los trabajos seleccionados se recolectó la siguiente información y se analizó y estructuró para desarrollar los siguientes capítulos: Fuente de polifenoles, Compuestos fenólicos, Agentes encapsulantes, Métodos de encapsulación, Digestión simulada *in vitro* y sus efectos.
4. **Elaboración de tablas:** se elaboraron 3 tablas con la siguiente información:

Tabla 1. Tabla general con información obtenida mediante “Microencapsulación de polifenoles”

Fuentes	Compuesto activo	Agente encapsulante	Método de encapsulación	Eficiencia de encapsulación	VARIABLES del proceso	Digestión gastrointestinal simulada <i>in vitro</i>	Efectos de la digestión simulada
---------	------------------	---------------------	-------------------------	-----------------------------	-----------------------	---	----------------------------------

Tabla 2. Tabla con información obtenida mediante “Microencapsulación de polifenoles por secado por atomización”.

Fuente	Compuesto fenólico	Agente encapsulante	Método de encapsulación	VARIABLES del proceso	Eficiencia de encapsulación
--------	--------------------	---------------------	-------------------------	-----------------------	-----------------------------

Tabla 3. Tabla con información obtenida mediante “Microencapsulación de polifenoles por secado por atomización y digestión simulada *in vitro*”.

Fuente	Compuesto fenólico	Agente encapsulante	Eficiencia de encapsulación	Digestión gastrointestinal simulada <i>in vitro</i>	Efectos de la digestión simulada
--------	--------------------	---------------------	-----------------------------	---	----------------------------------

5. **Elaboración de gráficos:** a partir de la información obtenida en cada tabla, se elaboraron gráficos para observar el comportamiento de la información.
6. **Discusión:** los resultados obtenidos se discutieron permitiendo determinar los métodos de encapsulación más utilizados, los porcentajes más altos de eficiencia, el uso dinámico de las tecnologías en el tiempo, entre otros.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. ESTABILIZACIÓN DE POLIFENOLES

La búsqueda de información se realizó en la página ISI Web of Science, utilizando las palabras claves “polyphenols microencapsulation”, “polyphenols microencapsulation + spray drying” y “polyphenols microencapsulation + spray drying + *in vitro* digestion”. Se seleccionaron artículos de los últimos 5 años (2017- mayo 2021) en la categoría Food Science and Technology. Se obtuvieron 133 artículos para “polyphenols microencapsulation”, de los cuales 70 artículos correspondieron a “polyphenols microencapsulation + spray drying” y 13 artículos para “polyphenols microencapsulation + spray drying + *in vitro* digestion”.

4.1.1. Microencapsulación de polifenoles

En la **tabla 4** (Anexo 1) se muestra la información obtenida, utilizando como palabras claves “Polyphenols microencapsulation”, correspondiente a 133 artículos. Dentro de esta información se describe: fuente de polifenoles, compuestos activos, agentes encapsulantes, variables del proceso, eficiencia de encapsulación, digestión simulada *in vitro*, efectos de la digestión simulada *in vitro* y la referencia. De acuerdo con la información de la tabla 4, se elaboró la figura 17 que indica el porcentaje de uso de los distintos métodos de encapsulación durante los últimos 5 años. El método de encapsulación secado por atomización correspondió a la tecnología más utilizada, con un 50,7% de uso, seguido por la liofilización con un 20,9%, emulsión doble 5,4% y gelificación iónica 5,4%, extrusión 4,7% y coacervación compleja 4,7%. Algunos métodos de encapsulación menos utilizados correspondieron a inclusión molecular y electrospraying presentando un 2,7% y 1,4% de uso respectivamente. Otros métodos reportados como electrospinning, interacción electroestática, y liposomas presentaron un 4,1% de uso.

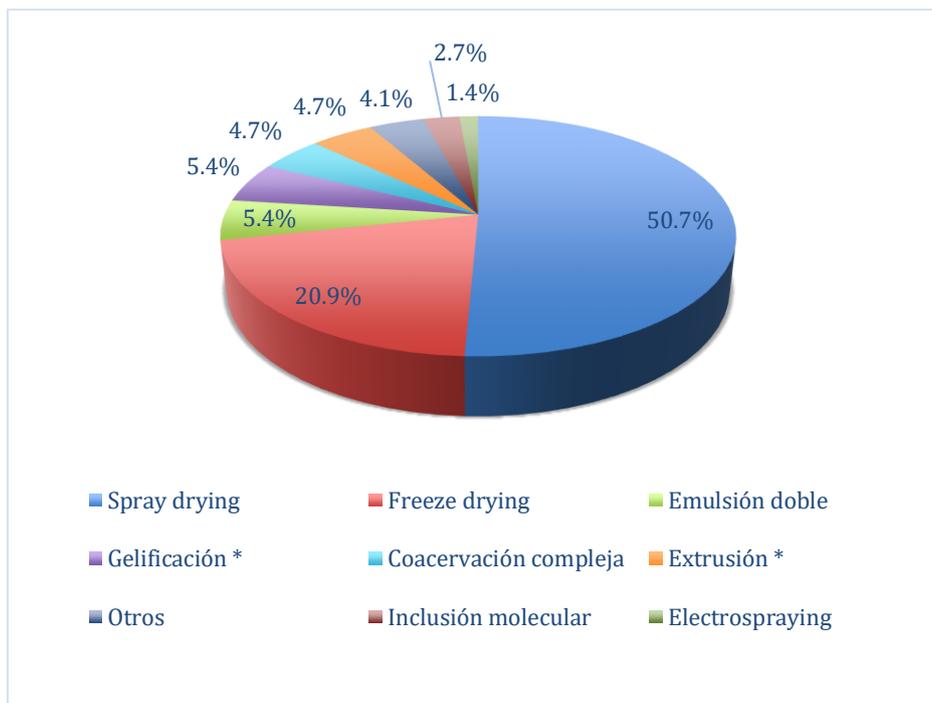


Figura 17. Porcentajes de uso de los distintos métodos de encapsulación en los últimos 5 años. (*Gelificación: iónica, inducida por calor e interna. * Extrusión: por goteo, en húmedo y simple). Elaboración propia.

El secado por atomización es el método de encapsulación más utilizado (Ferreira et al., 2021), debido a sus ventajas como ser un proceso económico, con costos de producción más bajos que los asociados a otros métodos de encapsulación, ser un proceso flexible y que produce micropartículas de buena calidad y con un tamaño y contenido de humedad específico (Grassia et al., 2021). La figura 18 representa el aumento del uso del método de encapsulación de polifenoles por secado por atomización (spray-drying) durante los últimos 4 años (2017-2020).

La liofilización (Freeze drying) es un método de encapsulación que se utiliza principalmente cuando se trata de compuestos termosensibles (Desai y Park, 2005). Así, la liofilización se ha utilizado para encapsular compuestos fenólicos como antocianinas (Oancea et al., 2018; Mazuco et al., 2018; Azarpazhooh et al., 2019; Petrovic et al., 2019; Milea et al., 2019; Cassol y Zapata et al., 2020), ácido gálico (Sepelevs et al., 2018) y proantocianidina (Ostroschi et al., 2018).

Otros métodos de encapsulación de polifenoles menos frecuentes son las emulsiones y gelificación iónica. Las emulsiones (5,4%, figura 17) son una técnica de encapsulación

que permite mantener la estabilidad y la liberación controlada de una amplia gama de compuestos bioactivos (lipofílicos, hidrofílicos y anfifílicos). Este tipo de encapsulación se encuentra como emulsiones simples: aceite-en-agua (O/W) y agua-en-aceite (W/O) (Peanparkdee y Iwamoto, 2020), ó emulsiones dobles: aceite-en-agua en aceite (O/W/O) (Moura et al., 2019) o agua-en-aceite en agua (W/O/W). Las emulsiones dobles (W/O/W) se han utilizado para la encapsulación de compuestos fenólicos en los últimos 5 años (Paulo, 2021; Guzmán et al., 2019; Cenobino et al., 2019; Gaharoudi et al., 2017; Ydjedd et al., 2017). La gelificación iónica (5,4%, figura 17), es un método que utiliza alginato como agente encapsulante, que al entrar en contacto con una solución de catión divalente o polivalente, forma un hidrogel que encapsula los compuestos activos (Silvina et al., 2019). Flammini et al. (2020) utilizó alginato mezclado con otros polímeros como pectina, proteína de suero y caseinato de sodio para encapsular extractos de hoja de olivo por gelificación interna obteniendo un porcentaje de eficiencia de encapsulación de 21% para alginato solo y un rango de 57-78% para la mezcla de alginato con otros polímeros.



Figura 18. Número de trabajos que encapsularon polifenoles utilizando secado por atomización en los últimos 5 años, correspondiente a 70 artículos.

4.1.2. Microencapsulación de polifenoles mediante secado por atomización

La **tabla 5** (Anexo 2) muestra la información obtenida correspondiente a 70 artículos, para la encapsulación de polifenoles utilizando el método de secado por atomización (spray drying), donde se detallan: los compuestos fenólicos, la fuente de polifenoles, las

variables del proceso, los agentes encapsulantes y la eficiencia de encapsulación. Mediante esta información se elaboró la figura 19 que representa el uso de los distintos agentes encapsulantes para la encapsulación de polifenoles mediante secado por atomización en los últimos 5 años.

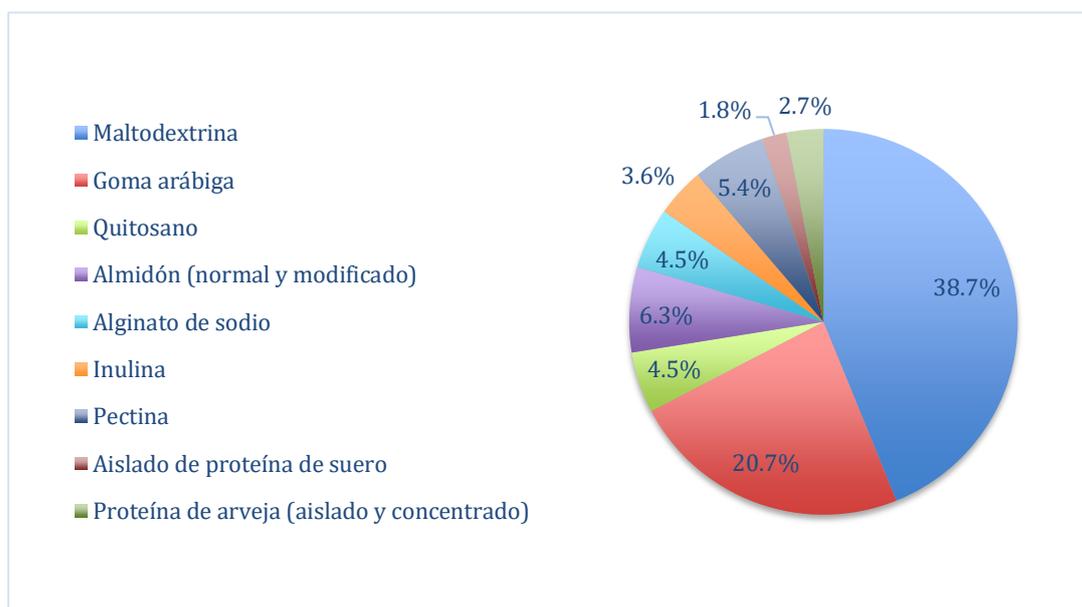


Figura 19. Agentes encapsulantes utilizados para encapsulación de polifenoles por secado por atomización, en los últimos 5 años.

La elección de los agentes encapsulantes en secado por atomización es particularmente importante, ya que estos deben tener características como: solubilidad, capacidad de formación de película, capacidad emulsionante en el caso de encapsulación de compuestos más bien hidrofóbicos y baja viscosidad a altas concentraciones (Ferreira et al., 202). La maltodextrina es un polisacárido que consiste en unidades de D-glucosa unidas principalmente por enlaces $\alpha(1-4)$, obtenida a partir de la hidrólisis del almidón, generalmente con un equivalente de dextrosa (ED) inferior a 20. El equivalente de dextrosa es una medida del grado de hidrólisis del polímero de almidón. Las maltodextrinas con equivalentes de dextrosas más utilizados son 5 ED, 10 ED, 15 ED y 18 ED (Kenyon, 2013). La maltodextrina es el agente encapsulante más utilizado en los últimos 5 años en secado por atomización (spray drying), con un 38,7% de uso (figura 19), que destaca por sus características como: su alta solubilidad, que permite una baja viscosidad a altos contenidos de sólidos (Poshardi y Kuna, 2010), tener bajo costo, fácil disponibilidad (Ferreira et al., 2021) y ser inoloro e insípido. Sin embargo, una desventaja de la maltodextrina es que carece de propiedades emulsionantes, por lo tanto, suele utilizarse junto con goma arábica u otros agentes emulsificantes como proteínas,

concentrado de proteína de suero y aislado de proteína de suero (Poshardi y Kuna, 2010), para la encapsulación de compuestos hidrofóbicos. Diversos autores han utilizado maltodextrina y goma arábica para encapsular extractos de polifenoles obtenidos mediante fuentes naturales por el método de secado por atomización (Álvarez et al., 2021; Iturri et al., 2021; Pinheiro et al., 2020; Janiszewska et al., 2020; Navidad et al., 2020; Tolun et al., 2020; Toledo, 2020; Papillo et al., 2018 y 2019; Boger et al., 2018). Tolun et al. (2020), reportó que la combinación de estos agentes encapsulantes ayuda a superar dificultades como la pegajosidad y alta higroscopicidad, que ocurre durante el proceso de secado por atomización. Otro agente encapsulante que ha sido ampliamente utilizado es la goma arábica (20,7 %, figura 19). Las gomas son moléculas de alto peso molecular, que provienen de ramas, troncos de árboles y frutos como respuesta a una invasión microbiana y a daños mecánicos. Las gomas se componen principalmente de pectinas, polisacáridos y proteínas, las cuales confieren propiedades funcionales como actividad coloidal, espesantes, emulsionantes, estabilizantes, encapsulantes e incluso capacidad de producir geles (Sibaja, 2015). La goma arábica es considerada un agente encapsulante versátil para la mayoría de los métodos de encapsulación debido a sus características como buena solubilidad, baja viscosidad y características emulsificantes debido a la fracción proteica en su estructura (Kenyon, 2013) y ser inodoro e insípido (Sibaja, 2015). Sin embargo, es de alto costo y de disponibilidad limitada y por eso suele ser combinada con maltodextrina (Castromonte et al., 2020).

El quitosano (4,5%, figura 19) es un polisacárido derivado de la quitina de origen natural por desacetilación alcalina. Estructuralmente es un co-polímero de β -D-glucosamina y N-acetil-D-glucosamina y se caracteriza por ser un polisacárido catiónico, de alto peso molecular no tóxico, biocompatible y biodegradable lo que lo hace favorable para su uso en alimentos. Este polímero es utilizado para liberación controlada de activos en el colon ya que es degradado por la microflora intestinal. Además, es soluble a pH bajo, por lo que se requiere del uso de otros polímeros naturales que lo protejan de las condiciones del estómago (Kosaraju, 2005).

Químicamente los almidones (6,3%, figura 19) son polímeros de unidades de glucosa unidas entre sí principalmente por enlaces α -(1-4) y ramificaciones por enlaces α -(1-6). Hay dos tipos de polímeros que se encuentran en el almidón, la amilosa que es el polímero de cadena lineal y la amilopectina que es un polímero de cadena ramificada. La cantidad

de amilosa y amilopectina varía dependiendo de la fuente del almidón (Kenyon, 2013). Las diferentes características del almidón, como la morfología, el tamaño de gránulo, la calidad y la composición que posee, están muy relacionadas con el origen de la fuente vegetal de la cual se obtiene. El almidón, en su estado natural es insoluble en agua fría, sin embargo, cuando se mezcla con agua y se calienta, el almidón se hincha, se rompe el gránulo y forma una pasta que puede producir películas fuertes, con alta viscosidad, siendo demasiado alta para la mayoría de los procesos de encapsulación utilizados en la industria alimentaria (Kenyon, 2013). Además, los almidones presentan ciertas limitaciones ya que no son capaces de tolerar algunas técnicas de procesamiento. En este contexto los almidones se han modificado para desarrollar propiedades funcionales deseables, tales como solubilidad, viscosidad, textura, adhesión, dispersión y tolerancia a altas temperaturas. El almidón modificado se ha utilizado en diversas aplicaciones como: agente encapsulante, aglutinante, estabilizando emulsiones, reteniendo humedad entre otras (Martínez, 2007). La modificación química del almidón se relaciona directamente con las reacciones de los grupos hidroxilo del polímero de almidón. Algunas modificaciones químicas del almidón involucran esterificación, eterificación, oxidación e hidrólisis. Ejemplos de almidones modificados hidrofóbicamente son Hi-Cap 100TM y Capsul TA (Carneiro et al., 2013), los cuales son utilizados para encapsulación.

La inulina (3,6 %, figura 19) es considerada un fructooligosacárido compuesto principalmente por cadenas lineales de monómeros de fructosa unidos por enlaces β -(1-2), terminados por una fracción de glucosa ligada α -(2-1) (Mensik, 2015). Este polímero es metabolizado en el colon por las bacterias intestinales, lo que puede permitir la liberación controlada de compuestos bioactivos en sitios específicos del organismo (Vega, 2011). Este polímero se utiliza como agente encapsulante para la microencapsulación de compuestos fenólicos (Turkiewicz et al., 2020; Gonzáles et al., 2020; Lima et al., 2019; Bernardes et al., 2019; Fredes et al., 2018; Pacheco et al., 2018; Urzúa et al., 2017; Morelo et al., 2017; Wilkowska et al., 2017; Daza et al., 2017), aceites y colorantes alimentarios por secado por atomización, en forma individual o en combinación con otros agentes encapsulantes (Encina et al., 2020).

Las pectinas (5,4%, figura 19) son polisacáridos lineales extraídos de las paredes celulares de las plantas. Son polímeros lineales de residuos del ácido D-galacturónico con enlaces α -(1-4) con un peso molecular medio en un rango de 50.000 g/mol a 180.000 g/mol. Estos

polisacáridos permanecen intactos en el estómago y en el intestino delgado, sin embargo, son degradados por las bacterias presentes en el colon humano (Kosaraju, 2005).

4.1.2.1. Diseño de experimento en secado por atomización

Los diseños de experimentos pueden definirse como un proceso que consiste en plantear los pasos necesarios que se deben seguir, así como el orden de estos, para una recolección y posterior análisis de la información que requiere estudiar un problema de investigación. El objetivo principal es obtener la mayor cantidad de información requerida por el experimento con el mínimo costo y la mayor eficiencia (Fernández, 2020). Ejemplo de esto es el diseño factorial, que se utiliza para experimentos con dos o más factores y en él se investigan todas las combinaciones posibles entre los niveles de los factores seleccionados (Fernández, 2020). Entre ellos encontramos el diseño factorial 2^3 (Boyano et al., 2020), donde se estudia el efecto de 3 factores a 2 niveles (González, 2012), y el diseño factorial 3^2 (Rodríguez et al., 2020; Aliakbarian et al., 2018; Daza et al., 2017) con tres niveles y 2 factores a estudiar (Fernández, 2020), también encontramos los diseños $3 \times 2 \times 3$ (Toledo et al., 2019) y $2 \times 3 \times 2$ (Airouyuwa y Kaewmanee, 2019), entre otros. El diseño de Taguchi L8 por ejemplo (Navidad et al., 2020), se basa en una matriz de diseño propuesta por el Dr Genichi Taguchi y que permite considerar un subconjunto seleccionado de combinaciones de múltiples factores en múltiples niveles (Reliability Hot Wire, 2012). La **tabla 6** (Anexo 3) muestra los diseños experimentales utilizados por diversos autores en la microencapsulación de polifenoles mediante spray drying en los últimos 5 años, los cuales corresponden a 12 artículos.

Para realizar estos diseños experimentales, es necesario pasar por distintas fases como: (1) reconocimiento y formulación del problema, (2) selección de los factores y niveles, (3) selección de las variables respuesta, (4) selección del diseño experimental, (5) realización del experimento, (6) análisis de datos con métodos estadísticos como ANOVA, utilizado para verificar si existen diferencias estadísticas significativas entre la media de más de dos muestras o grupos de muestras en un mismo planteamiento, aplicando un modelo lineal o cuadrático. El objetivo de este diseño se basa en la descomposición de variabilidad total en dos partes, una debida a la variabilidad entre las distintas poblaciones y otra parte a la variabilidad intrínseca de las observaciones y por último (7) realizar conclusiones y recomendaciones (Fernández, 2020).

La **tabla 7** (Anexo 4) detalla las variables más estudiadas en los diseños de experimentos utilizados para la encapsulación de polifenoles por secado por atomización durante los últimos 5 años.

4.1.2.2. Variables independientes estudiadas

Dentro de las variables estudiadas para la encapsulación de polifenoles por secado por atomización podemos encontrar variables de proceso y de formulación. Las variables de proceso corresponden a la temperatura de entrada de aire y temperatura de salida de aire, flujo de la alimentación, temperatura de alimentación, entre otros. Dentro de las variables de formulación las más estudiadas son la concentración del agente encapsulante, del compuesto activo y la proporción entre ellos (**tabla 8**) Anexo 5.

De acuerdo con la figura 20, dentro de las variables de operación en el secado por atomización, la variable más estudiada es la temperatura del aire de entrada al secador (8 artículos). Su importancia se debe principalmente a que es directamente proporcional a la velocidad de formación de la costra que permite la retención del activo dentro de la micropartícula, por lo tanto, influye directamente en la eficiencia de encapsulación y en las propiedades fisicoquímicas de las micropartículas formadas (Esquivel et al., 2015). Una baja temperatura del aire de entrada al secador se asocia con una baja velocidad de evaporación lo que conduce a que las micropartículas tengan mayores contenidos de humedad, alta densidad, baja fluidez y capacidad de aglomerarse, resultando en un bajo rendimiento de polvo. Por otro lado, una muy alta temperatura del aire de entrada al secador provocaría una rápida evaporación, lo que resultaría en el rompimiento de la membrana de recubrimiento, induciendo una liberación prematura del compuesto bioactivo, así como una degradación de éste (Mohammed et al., 2020). La temperatura de salida del aire también es una variable de interés (4 artículos), porque es un parámetro de control del secador que depende de la temperatura del aire de entrada en equipos con boquilla a escala de laboratorio. Además, la temperatura de salida es un parámetro que determina la velocidad de secado de las gotas y tiene un efecto significativo sobre las propiedades del polvo formado. El flujo de alimentación también es una variable de interés (3 artículos). Una velocidad de flujo de alimentación alta aumenta la humedad del polvo producido en secado por atomización debido a que no permite un tiempo adecuado para la transferencia de calor desde el aire hacia la gota y del agua desde la gota hacia el aire. Así un corto tiempo de contacto hace que la transferencia de masa y calor sea menos

efectiva y conduce a un mayor contenido de humedad en el producto final (Shishir y Chen, 2017). Dentro de las variables de formulación, el tipo de agente encapsulante (2 artículos), la concentración del agente encapsulante (5 artículos), su proporción con respecto a otro agente encapsulante (2 artículos) y su proporción con respecto al activo (4 artículos). El tipo de agente encapsulante es muy importante ya que además de proteger al activo de la temperatura, el oxígeno, la luz y la humedad, mejora el secado de soluciones pegajosas, aumenta el rendimiento de secado y reduce el contenido de humedad del producto. En cuanto a la concentración de los agentes encapsulantes, no existe un valor recomendable para el secado por atomización. La concentración óptima depende del objetivo del secado por atomización, del activo utilizado y el tipo de agente encapsulante. El rango adecuado en secado por atomización se determina usualmente por un procedimiento de prueba y error basado en las características deseadas del producto final (Shishir y Chen, 2017). Por último, la concentración del activo a encapsular (1 artículo) también es una variable de interés.

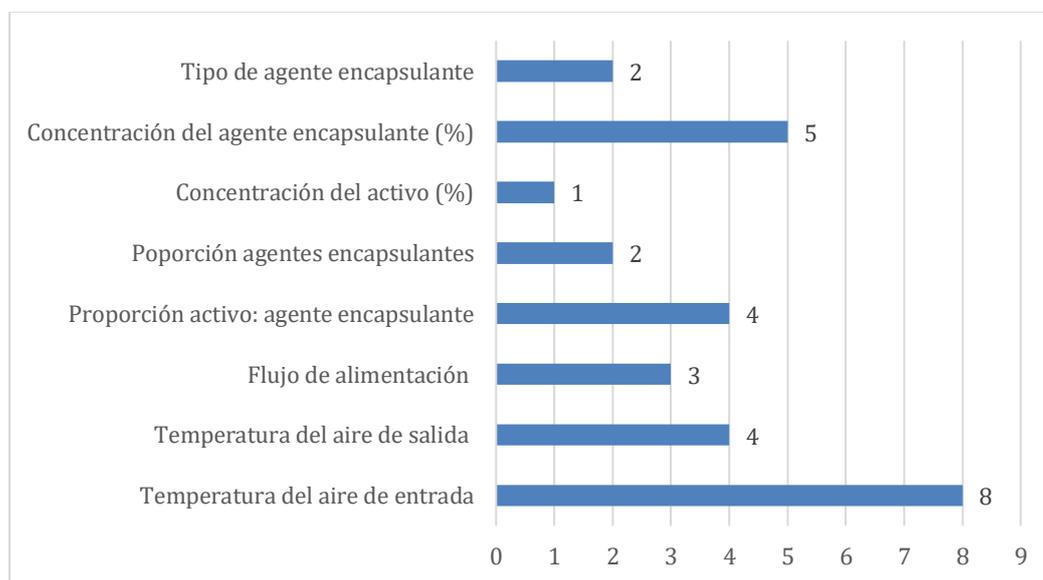


Figura 20. Variables independientes estudiadas en diseños de experimentos para la encapsulación de polifenoles por secado por atomización, en los últimos 5 años.

4.1.2.3. Variables dependientes estudiadas

Dentro de las variables dependientes estudiadas en los diseños de experimentos, la eficiencia de encapsulación es una de las más importantes (5 artículos). La eficiencia de encapsulación (EE%) se utiliza para indicar la cantidad de compuesto activo dentro de la

micropartícula (Grassia et al., 2021). La eficiencia de encapsulación puede ser representada por la siguiente ecuación:

$$EE (\%) = \frac{\text{Contenido de activo total} - \text{Contenido superficial del activo}}{\text{Contenido del activo total}} * 100$$

Según los datos obtenidos en la tabla 5, para el método de secado por atomización, uno de los agentes encapsulantes que tuvo mayor eficiencia de encapsulación de polifenoles fue el quitosano modificado (soluble en agua) con ~ 100% de EE (Estevinho et al., 2021), seguido de un rango de 92,3 a 99,8 % cuando se utilizó en la mezcla quitosano soluble en agua + alginato de sodio + goma arábica (Ribeiro et al., 2019). En cuanto al quitosano insoluble en agua este obtuvo un rango entre 76% y 90% (Nakilcioğlu-Tas y Otles, 2019; Reis et al., 2018) y un rango entre 72,9% y 99,3% cuando se utilizó en mezcla con alginato de sodio + goma arábica (Chaumon et al., 2020). La maltodextrina como agente encapsulante mostró un amplio rango de EE de polifenoles entre 38,1% y 92,2% (Grassia et al., 2021; Gonzáles et al., 2020; Bernardes et al., 2019; Paul et al., 2018; Aliakbarian et al., 2018; Busic et al., 2018; Wilkowska et al., 2017; Wilkowska et al., 2016), un rango entre 34,9% y 93,0% en la mezcla de maltodextrina + goma arábica (Álvarez et al., 2021; Pinheiro et al., 2020; Navidad et al., 2020; Sobieralska, 2019; Boger, 2018; Willowska et al., 2017; Busch et al., 2017), una EE de polifenoles de 87% cuando se utilizó en la mezcla maltodextrina + goma arábica + β -ciclodextrina (Li et al., 2018), una EE de polifenoles de 71,25% cuando se utilizó como maltodextrina + pectina (Ahmadian et al., 2019), 55,69% cuando se utilizó en la mezcla de maltodextrina + aislado de proteína de suero + aislado de proteína de soja (Rodríguez et al., 2020), y un 33% cuando se utilizó como maltodextrina + goma de anacardo (Silvia et al., 2018) siendo este el valor más bajo.

El rendimiento de la encapsulación (6 artículos) es otra de las variables más estudiadas según la figura 21, el cual refleja el peso de micropartículas obtenidas con respecto a la cantidad total de sólidos (activo + agente encapsulante) (Lozano, 2009). Se espera que este valor sea lo más alto posible (Sánchez, 2016). El rendimiento puede ser representado por la siguiente ecuación:

$$Y (\%) = \frac{\text{Peso microcápsula en base seca}}{\text{Peso mezcla de alimentación en base seca}} * 100$$

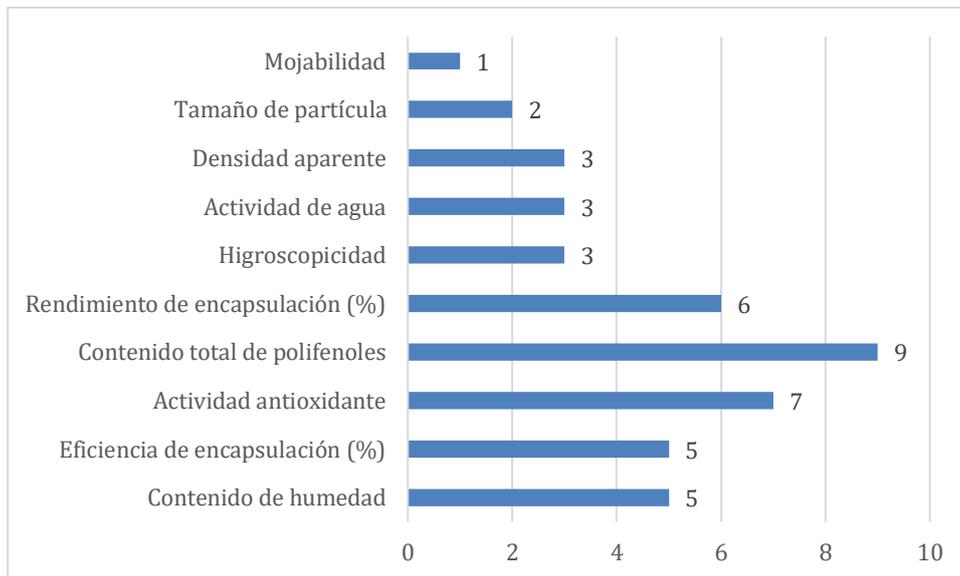


Figura 21. Variables dependientes estudiadas en diseños de experimentos para la encapsulación de polifenoles por secado por atomización, en los últimos 5 años.

La actividad antioxidante (7 artículos) es un parámetro de gran interés en las micropartículas de polifenoles, de manera de garantizar la propiedad funcional atribuida de retardar o prevenir la oxidación de otras moléculas. Los procedimientos más usados para la medición de este parámetro ORAC (capacidad de absorción de radicales libres), FRAP (poder antioxidante de la reducción del ión ferrico), DPPH (reacción con el radical 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo y ABTS (reacción con el radical 2,2'-azino-bis: 3-etilbenzotiazolin-6-sulfonato de amonio). Existen métodos que se clasifican según la forma en que se expresen sus resultados como la capacidad antioxidante equivalente de trolox (TEAC). Sin embargo, ningún método refleja la capacidad antioxidante total, ya que cada uno posee mecanismos de acción diferentes sobre la forma en que actúan sobre los radicales libres responsables de los procesos oxidativos (Ríos et al., 2021). El contenido de polifenoles totales es una variable de gran interés (9 artículos), determinado generalmente utilizando el método de Folin-Cicolteau (Ramírez, 2013). Otras variables de interés son el contenido de humedad (5 artículos) el cual puede establecerse por gravimetría en una estufa a 105°C. Un bajo contenido de humedad evita la aglomeración entre partículas y mejora la dispersión del polvo. El contenido de humedad de los productos en polvo obtenidos mediante secado por atomización varía entre 1,50% y 9,55% (Cardona et al., 2021). La higroscopicidad es otra variable de interés (3 artículos) y es determinada frecuentemente como el peso en gramos de humedad absorbida por 100 g de sólidos secos. Otras variables estudiadas son la actividad de agua (3 artículos), la

densidad aparente (3 artículos), el tamaño de partículas (2 artículos) y la mojabilidad (1 artículo).

4.1.2.4. Modelos de optimización

Una vez que se establecen los modelos para las variables, el siguiente paso es realizar una optimización (Domínguez, 2007). La optimización tiene como objetivo mejorar el rendimiento de un proceso ajustando sus parámetros, y puede llevarse a cabo a través de una variable a la vez o mediante el uso de técnicas de estadística multivariante (Shishir y Chen, 2017). La optimización se realiza aplicando diversos métodos de análisis de variables como la metodología de superficie de respuesta (MSR) (Ferreira et al., 2021; Gonzáles et al., 2020; Gonzáles et al., 2019; Li et al., 2018; Fredes et al., 2018; Urzúa et al., 2017; Morelo et al., 2017) que es una de las metodologías más utilizadas. MSR corresponde a un conjunto de técnicas matemáticas y estadísticas que se utilizan para modelar y analizar problemas en los cuales hay una o más variables respuestas de interés y su objetivo es encontrar los valores óptimos para las variables independientes que maximizan, minimizan o cumplen ciertas restricciones en las variables de respuesta (Domínguez, 2007).

Dentro de los 70 artículos que realizaron microencapsulación de polifenoles mediante secado por atomización, 8 de ellos utilizaron el Método de superficie de respuesta para optimizar sus variables (Ferreira et al., 2021; Gonzáles et al., 2020; Gonzáles et al., 2019; Lima et al., 2019; Li et al., 2018; Fredes et al., 2018; Urzúa et al., 2017; Morelo et al., 2017).

4.1.3. Simulación digestiva *in vitro* de micropartículas de polifenoles obtenidas mediante secado por atomización.

La **tabla 9** (Anexo 6) muestra la información obtenida, mediante las palabras claves “Polyphenols microencapsulation” + “spray drying” + “*in vitro* digestión”, correspondiente a 13 artículos. En ella se especifican los compuestos fenólicos, su fuente, las condiciones de la digestión gastrointestinal simulada *in vitro* y sus efectos.

Dentro de los estudios encontrados se reportan 2 condiciones gastrointestinales (pH y pH + enzimas + sales), donde se han seguido los polifenoles totales, y/o los polifenoles individuales.

4.1.3.1. Simulación del pH en la digestión

Uno de los primeros pasos para entender el comportamiento de la liberación de los polifenoles encapsulados durante la digestión *in vitro* es la simulación del pH en cada compartimiento del tracto digestivo. En estos casos, el contenido de polifenoles totales se determinó a través del método Folin-Cicolteau y la cantidad de antocianinas totales a través del método de pH diferencial (Moreno et al., 2018). Los datos obtenidos mediante este sistema se ajustaron a diferentes modelos matemáticos para determinar las constantes de velocidad de liberación de los polifenoles totales y el mecanismo de liberación (Malekjani y Mahdi, 2020).

Moreno et al. (2018) realizaron una digestión simulada *in vitro* a pH 1,2 y 6,8, de polifenoles de orujo de uva encapsulados con maltodextrina, aislado de proteína de suero y aislado de proteína de arveja, mediante secado por atomización. El objetivo fue determinar la liberación gastrointestinal *in vitro* de compuestos fenólicos totales y antocianinas totales. Los datos experimentales se ajustaron utilizando diferentes modelos matemáticos para la liberación de polifenoles: Higuchi, Korsmeyer-Peppas y Baker-Lonsadake. El estudio reportó que la constante de liberación de polifenoles totales fue independiente del medio y por lo tanto del pH para las micropartículas con maltodextrina y proteína de arveja, mostrando perfiles de liberación de polifenoles y antocianinas muy similares a los del extracto sin encapsular. Sin embargo, las micropartículas de proteína de suero mostraron una mayor constante de velocidad de liberación de polifenoles en condiciones alcalinas (intestinal) con respecto a las condiciones ácidas (gástrica). Esto se debería a que a pH cercanos a el punto isoeléctrico las proteínas precipitan inhibiendo la liberación del activo. Las condiciones ácidas favorecieron la liberación de antocianinas totales para todos los agentes encapsulantes debido a su mayor solubilidad a pH bajo.

4.1.3.2. Simulación del pH, enzimas y sales en la digestión

La simulación oral, gástrica e intestinal *in vitro* se ha estudiado con pH + sales + enzimas. Esto permite estudiar la bioaccesibilidad de diferentes sistemas: matrices alimentarias, compuestos bioactivos, ingredientes alimentarios, nutraceuticos y fármacos (Ferreira et al., 2021) La bioaccesibilidad puede ser definida como la fracción de un compuesto bioactivo que es liberado desde la matriz por la acción de enzimas digestivas (Pacheco et al., 2018).

Estos estudios se pueden clasificar en dos grupos de trabajo: a) seguimiento de compuestos fenólicos totales y b) estudio de compuestos fenólicos individuales en la digestión simulada. Generalmente el perfil de compuestos fenólicos individuales se realiza por cromatografía líquida acoplada a la espectrometría de masas (HPLC-MS / MS), aplicándose a cada compartimento simulado del tracto digestivo (Ferreira et al., 2021).

A) Seguimiento de la liberación de compuestos fenólicos totales en condiciones de digestión simulada

Álvarez et al. (2021) determinaron el contenido fenólico total y la actividad antioxidante del jugo de granada microencapsulado (JGM) con maltodextrina y goma arábiga mediante spray drying, antes y después de la acción de enzimas digestivas utilizadas para simular las condiciones del tracto gastrointestinal. El estudio reportó que la liberación de los compuestos antioxidantes desde las micropartículas después de la digestión *in vitro* mostró que un mayor contenido de polifenoles totales respecto al JGM no digerido, lo que indicó que las estructuras de los polifenoles condensados se hidrolizaron, aumentando la bioaccesibilidad final de la digestión simulada.

Ahmadian et al. (2019) utilizaron extracto de azafrán para su encapsulación con una mezcla de maltodextrina (10-12%) y pectina (0-2%) por secado por atomización y liofilización. El comportamiento de las micropartículas en el sistema digestivo dependió de la composición del agente encapsulante, la resistencia a las enzimas digestivas y el pH del entorno. En condiciones salivares las micropartículas con un mayor contenido de maltodextrina aumentaron la liberación de compuestos fenólicos, siendo mayor la liberación en las micropartículas liofilizadas respecto a las producidas en secado por atomización. Esto se debería al hecho de que la saliva contiene la enzima α -amilasa que conduce a la hidrólisis de la maltodextrina, produciendo la liberación del compuesto activo. En condiciones gástricas simuladas, la liberación de compuestos fenólicos aumentó en un 52% (spray drying) y un 49% (freeze drying) con respecto a las condiciones salivares, para las micropartículas elaboradas con 10% de maltodextrina y 2% de pectina. En cuanto a la digestión intestinal simulada, se observó que las muestras que contenían mayor cantidad de pectina mostraron una mayor liberación de compuestos fenólicos siendo este valor más alto en secado por atomización respecto a la liofilización.

Esto se debería a la inestabilidad de la pectina en un ambiente alcalino, lo que resulta en una mayor liberación del activo en las micropartículas con mayor contenido de pectina.

Moura et al. (2019) evaluaron el perfil de liberación de antocianinas y polifenoles totales de micropartículas obtenidas mediante extrusión por goteo y secado por atomización, en condiciones gástricas (pH 1,2) e intestinales (pH 7,4) simuladas. El perfil de liberación de compuestos fenólicos mostró que las micropartículas formadas mediante extrusión por goteo presentaron una liberación menor que las micropartículas generadas por secado por atomización. En los primeros 40 min se observó una mayor liberación de polifenoles, entre 120 a 240 min la liberación se mostró constante, obteniendo los mayores valores de liberación después de 120 min (47% extrusión por goteo y 51% para secado por atomización). En cuanto al extracto sin encapsular, se detectaron más del 90% de los polifenoles a los 60 min y más del 95% de las antocianinas durante los primeros 15 min. Sin embargo, el extracto encapsulado mostró una liberación de 12,5% en la fase gástrica, mostrando el efecto protector de la encapsulación. Para las partículas obtenidas mediante extrusión por goteo, el contenido de antocianinas en fase gástrica fue ligeramente más bajo que el encontrado para las partículas obtenidas mediante secado por atomización.

Los compuestos fenólicos de un extracto de maíz azul mexicano se encapsularon en maltodextrina y maltodextrina + pectina, mediante secado por atomización (Canizales et al., 2019) con el fin de conservar sus propiedades funcionales durante el almacenamiento y la digestión *in vitro*. Los perfiles de liberación de antocianinas y polifenoles totales mostraron que la liberación gástrica fue significativamente mayor para las micropartículas elaboradas con maltodextrina, con respecto a las elaboradas con maltodextrina + pectina, lo que sugiere que la pectina retrasa la liberación debido a la presencia de ácido galacturónico en su estructura química que no son hidrolizadas por enzimas humanas. Sin embargo, las enzimas bacterianas del colon si son capaces de hidrolizarla y liberar los compuestos activos. El estudio demostró que, en la simulación intestinal, la liberación de polifenoles fue casi completa (95%), para ambas matrices.

Iturri et al. (2021) encapsularon pulpa de guayaba (*Eugenia stipitata*) con maltodextrina o goma arábica por secado por atomización, con el fin de preservar la bioactividad de los polifenoles presentes en las micropartículas obtenidas en el colector y en la cámara de secado después de la digestión *in vitro*. Los resultados indicaron que las micropartículas

presentes en el colector preservaron la bioactividad de los polifenoles totales después de la digestión *in vitro* y que las micropartículas que tuvieron la mejor conservación de polifenoles fueron las micropartículas formadas con maltodextrina en una relación de pulpa-maltodextrina (1:9) (2934 ± 50 mg ácido gálico/100 g materia seca). En cuanto a la cámara de secado las micropartículas también preservaron la bioactividad de los polifenoles totales, siendo las micropartículas formadas con goma arábiga en una relación de pulpa-goma arábiga (1:9) a 100°C , las que presentaron una mayor conservación de polifenoles (1721 ± 66 mg ácido gálico/100 g materia seca).

Bernardes et al. (2019) microencapsularon extracto de pulpa de açai en compuestos fenólicos con diferentes agentes encapsulantes (maltodextrina, inulina y goma arábiga) mediante secado por atomización. El objetivo de este estudio fue analizar la bioaccesibilidad de los compuestos fenólicos y antocianinas microencapsulados mediante digestión simulada *in vitro*. La digestión simulada mostró que la bioaccesibilidad de los polifenoles totales fue similar entre agentes encapsulantes. Sin embargo, en relación con la fracción residual las micropartículas de inulina mostraron un mayor porcentaje de recuperación de antocianina, reflejando una mayor actividad antioxidante en esta fracción. Sin embargo, para el contenido fenólico las micropartículas con goma arábiga mostraron un mayor porcentaje de recuperación (44,65%) en comparación con el extracto sin encapsular (20,32%).

B) Seguimiento de la liberación de compuestos fenólicos individuales en condiciones de digestión simulada

Ferreira et al. (2021) encapsularon extractos fenólicos de corteza de pino con maltodextrina mediante spray drying. Se estudió el efecto de la digestión gastrointestinal *in vitro* del extracto de corteza de pino tanto encapsulado como no encapsulado, sobre la liberación del contenido de polifenoles totales e individuales mediante INFOGEST. El perfil de liberación de los polifenoles individuales fue realizado mediante análisis UHPLC-DAD. Los compuestos fenólicos más abundantes identificados en el extracto no encapsulado fueron catequina, epicatequina, ácido p-cumarico, galocatequina, naringerina y taxolina mostrando valores en un rango de 125 a 199 mg/L con la excepción de la taxifolina que tuvo la concentración más alta (344 mg/L). Otros flavonoides, ácidos hidroxibenzoicos, ácidos hidroxicinámicos y estilbenos (resveratrol) se identificaron con concentraciones en un rango de 44 a 94 mg/L, a excepción de la apigenina y el ácido

cinámico que tenían concentraciones más bajas. Luego de la digestión simulada encontró que el resveratrol, el ácido rosmarínico y la galocatequina son los compuestos menos estables, al no detectarse al final de la digestión. Otros compuestos como taxifolina, ácido 3,4-hidroxibenzoico, naringerina, ácido o-cumárico y ácido cinámico, también se degradaron o transformaron durante la fase intestinal, teniendo concentraciones inferiores a 53 mg/L, 12 mg/L, 5,2 mg/L, 4,9 mg/L y 2 mg/L respectivamente.

Paul et al. (2018) investigó las principales antocianinas presentes en arilo de granada mediante UHPLC y estudió la bioaccesibilidad de la antocianina en forma de jugo, cristal purificado y producto formulado mediante simulación *in vitro*. Las principales antocianinas presentes fueron: delfinidina 3,5-diglucósido, cianidina 3,5-diglucósido, cianidina 3-glucósido y delfinidina 3-glucósido. El estudio *in vitro* reveló que la bioaccesibilidad fue máxima en las muestras formuladas, seguida del cristal purificado y mínima en el jugo, y que la cantidad de antocianinas bioaccesibles en condiciones duodenales varió entre 7,3% y 9,7%.

Fredes et al. (2018) encapsuló jugo de maqui rico en antocianinas (JM) con alginato de sodio o inulina por secado por atomización, con el fin de estudiar la bioaccesibilidad de cada antocianina en la digestión simulada *in vitro*. La bioaccesibilidad de las antocianinas totales fue mayor en jugo de maqui encapsulado (micropartículas con inulina 43% y con alginato 44,1%) respecto a las antocianinas sin encapsular (31,1%). La menor bioaccesibilidad de antocianinas en jugo de maqui se puede atribuir a la alta degradación de las antocianinas en las condiciones intestinales, lo que provocaría la hidrólisis y/o degradación de estas. Por lo tanto, la encapsulación de las antocianinas tiene un efecto protector frente a las condiciones de digestión simulada *in vitro*. Sin embargo, las características estructurales de las antocianinas individuales y la naturaleza del polisacárido utilizado como agente encapsulante influyeron en la bioaccesibilidad individual. La cianidina-3-sambubiósido-5-glucósido + cianidina-3,5-diglucósido tuvo la mayor bioaccesibilidad tanto en JM -inulina (83,5%) como en JM-maltodextrina (74,0%). La bioaccesibilidad de las antocianinas individuales para el JM-inulina y el JM-maltodextrina fue delfinidina-3-sambubiósido-5-glucósido (43,7% y 57,2%, respectivamente), delfinidina-3,5-diglucósido (35,7% y 52,9%, respectivamente), delfinidina-3-sambubiósido (25,7% y 24,8%, respectivamente), delfinidina-3-glucósido (19,6% y 21,2%, respectivamente) y cianidina-3-glucósido (49,6% y 34,4%,

respectivamente). Los resultados mostraron que la bioaccesibilidad depende tanto del agente encapsulante como de las características estructurales de las antocianinas.

Diversas investigaciones han evaluado la liberación controlada de extracto fenólico de hojas de olivo mediante la técnica de encapsulación por secado por atomización, utilizando agentes encapsulantes como alginato de sodio (González et al., 2019) e inulina y maltodextrina (González et al., 2020). Se evaluó la digestión gastrointestinal *in vitro* de la oleuropeína encapsulada y no encapsulada considerando la fase gástrica, intestinal y colónica. Los resultados mostraron que la liberación de la oleuropeína dependió del agente encapsulante utilizado. A pesar de que la estructura de gel del alginato es relativamente estable a pH ácido, se encontró un leve aumento en los niveles de oleuropeína en las micropartículas de alginato de sodio después de los 10 min de digestión gástrica, atribuido a la oleuropeína superficial en la micropartícula. En la digestión intestinal se encontró un aumento en los niveles de oleuropeína, lo que puede significar una liberación gradual de esta desde las micropartículas, ya que el alginato se hincha y se desintegra fácilmente en condiciones alcalinas suaves. En el colon, cantidades notables de oleuropeína se presentaron, donde la fermentación provocó la disminución de los niveles de oleuropeína alrededor del 70%. En cuanto a las micropartículas de maltodextrina y debido a la alta solubilidad de esta, la oleuropeína se liberó rápidamente y se expuso a las condiciones gástricas adversas, provocando su degradación parcial (23,3 mg de oleuropeína después de 30 min). Por el contrario, en las micropartículas con inulina se encontró un aumento del contenido de oleuropeína durante la digestión gástrica, alcanzando valores de 51,9 mg de oleuropeína a los 30 min. Durante la fase intestinal el contenido de oleuropeína disminuyó más en las micropartículas con inulina que con maltodextrina. Durante la digestión colónica se encontró un efecto protector de la inulina sobre la degradación de la oleuropeína lo que sugiere que las interacciones polisacárido polifenoles dificultan la degradación microbiana de la oleuropeína. La bioaccesibilidad de la oleuropeína fue significativamente mayor para las micropartículas con alginato de sodio (58%) respecto a las micropartículas con maltodextrina (15%), inulina (12%) y no encapsuladas (1,5%).

4.2.TENDENCIA DE POLIFENOLES ENCAPSULADOS EN PRODUCTOS ALIMENTARIOS

Hoy en día los consumidores están preocupados de mantener una dieta y un estilo de vida saludable. Así, la demanda de ingredientes en base a compuestos fitoquímicos naturales y que promueven la salud para la formulación de alimentos funcionales han aumentado (Marinelli et al., 2019; Cenobino, 2009).

En este contexto la industria alimentaria ha buscado alternativas para desarrollar productos alimenticios enriquecidos con antioxidantes naturales que pueden tener un papel fundamental en la prevención de enfermedades cardiovasculares, neurodegenerativas y cáncer. Sin embargo, estos compuestos suelen ser inestables tanto a las condiciones ambientales (temperatura, oxígeno, presión) como a las condiciones del propio alimento (pH, enzimas, interacción con otros ingredientes) (Alimentatec, 2021), por lo que el uso de compuestos bioactivos encapsulados como aditivos para el desarrollo de alimentos saludables y/o funcionales, debería permitir la protección de los compuestos bioactivos hasta que estos sean consumidos (Robert y Giménez, 2016).

Hoy en día, en el ámbito alimentario la encapsulación se aplica para estabilizar y/o proteger numerosas sustancias activas como colorantes, aromas, microorganismos, antioxidantes (polifenoles) y antimicrobianos entre otros frente a la oxidación, fotosensibilidad, volatilidad y reacción con otros compuestos presentes en el alimento (Alimentatec, 2021).

Para estudiar la tendencia de la adición de polifenoles microencapsulados en productos alimenticios, se realizó una búsqueda dentro de los 133 artículos encontrados mediante las palabras clave “microencapsulation polyphenols”, de los cuales 28 estudiaron la incorporación de polifenoles microencapsulados en productos alimentarios (**tabla 10**, Anexo 7). La adición de encapsulados de polifenoles en alimentos, se ha logrado utilizando diferentes métodos de encapsulación: emulsión doble (Cenobino et al., 2019; Moura et al., 2019; Moura et al., 2019; Ghahroudi et al., 2017), liofilización (Lachowicz et al., 2021; Milea et al., 2019; Petrovic et al., 2018; Xu et al., 2019; Hidalgo et al., 2018; Mohamed y Younis, 2018., 2018; Fenoglio et al., 2020), gelificación iónica (Ribeiro et al., 2020; Alves et al., 2018; Ivanova et al., 2018), electrospraying (Gómez et al., 2017), extrusión por goteo (G et al., 2021) e interacción electrostática (Zhao et al., 2020). Sin embargo, el método más utilizado es secado por atomización con 12 artículos (Fenoglio et al., 2020; Kaderides et al., 2020; Turrini et al., 2020; Marinelli et al., 2019; Jansen-

Alves et al., 2019; Bernardes et al., 2019; Papillo et al., 2019; Papillo et al., 2018; Pacheco et al., 2018; Urzúa et al., 2017; Morelo et al., 2017; Soares dos Reis et al., 2017).

4.2.1. Micropartículas producidas mediante secado por atomización adicionadas a alimentos

Aquellos artículos que adicionaron micropartículas de polifenoles producidas mediante secado por atomización a matrices alimentarias se pueden agrupar en tres grupos.

1.- Aquellos que estudiaron la estabilidad de los polifenoles (polifenoles totales, flavonoides, antocianinas) y la actividad antioxidante, durante el almacenamiento y después del procesamiento (Kaderides et al., 2020; Marinelli et al., 2019; Jansen-Alves et al., 2019; Bernardes et al., 2019; Papillo et al., 2019; Papillo et al., 2018; Pacheco et al., 2018; Urzúa et al., 2017; Soares dos Reis et al., 2017).

2.- Aquellos que evaluaron los atributos sensoriales de los alimentos (Soares dos Reis et al., 2017; Jansen-Alves et al., 2019; Kaderides et al., 2020; Turrini et al., 2020; Bernardes et al., 2019).

3.- Aquellos que estudiaron la estabilidad oxidativa de alimentos grasos (Fenoglio et al., 2020; Morelo et al., 2017; Soares dos Reis et al., 2017).

Marinelli et al. (2019) elaboraron hamburguesas de pescado con y sin micropartículas de extracto de brócoli rico en flavonoides, con el fin de determinar el contenido total de polifenoles, flavonoides y la actividad antioxidante tanto en las hamburguesas de pescado crudas como cocidas. Los resultados fueron comparados con un control (hamburguesa no fortificada) para así determinar el potencial saludable de las hamburguesas fortificadas con un 5% de extracto encapsulado. Se determinó que la incorporación del 5% del extracto microencapsulado mejoró significativamente la concentración de los compuestos bioactivos y de la actividad antioxidante cuando se comparó con el control. Además, después de cocinar las hamburguesas, tanto el contenido de flavonoides totales como la actividad antioxidante de las muestras fortificadas se redujo levemente, pero no hubo variaciones significativas para el contenido de polifenoles totales en las muestras cocidas (1,54 mg equivalente ácido gálico/g) y crudas (1,57 mg equivalente ácido gálico/g). Lo que confirma que tanto el proceso como la cocción no afectaron en gran medida la estabilidad de los polifenoles extraídos. El estudio concluyó que los extractos de subproductos del brócoli pueden considerarse una fuente prometedora para la formulación de nuevos alimentos con interesantes propiedades saludables.

Turrini et al. (2020) enriquecieron rodajas de manzana recién cortadas con micropartículas de extracto de orujo de granada mediante impregnación al vacío y compararon su color con el de rodajas de manzanas impregnadas con soluciones antioxidantes de uso común como ácido gálico y ácido ascórbico (control). Para cada solución de impregnación, se realizó un experimento de impregnación al vacío y se controló espectrofotométricamente el pardeamiento enzimático de las rodajas de manzana recién cortadas. Después de drenar el exceso de las soluciones, las rodajas de manzana fueron analizadas inmediatamente y en dos tiempos de almacenamiento (3 y 5 días a 4°C). Los resultados preliminares mostraron que la inmersión de micropartículas en las rodajas de manzana es capaz de mejorar el color de las rodajas de manzanas, lo que corresponde a un menor pardeamiento. Esto es importante ya que el color de las rodajas de manzanas listas para el consumo es un parámetro crítico en su aceptación por parte de los consumidores en el mercado.

Fenoglio et al. (2020) evaluaron la estabilidad oxidativa de la mayonesa con adición de polvo de extracto de yerba mate no encapsulado y polvo de extracto de yerba mate encapsulado con maltodextrina, ambos obtenidos mediante freeze drying y spray drying. (Polvo liofilizado (PL) y polvo secado por atomización (PS), polvo encapsulado liofilizado (PEL) y polvo encapsulado secado por atomización (PES)). La estabilidad oxidativa se midió utilizando una prueba acelerada, aumentando la presión de oxígeno (700 kPa) y la temperatura (120 °C). La estabilidad oxidativa se expresó en unidades de tiempo (min) como la diferencia en el tiempo de oxidación de la mayonesa en presencia o ausencia del del extracto de YM (control). Los resultados mostraron que PL y PS aumentaron el tiempo de oxidación de la mayonesa en 60,57 min (139,7%) y 72,29 min (138,8%) respectivamente respecto al control, mientras que la adición de PEL y PES retrasó la oxidación, aumentando el tiempo en 164,45 min (206,44%) y 257,69 (250,75%) respectivamente. En todos los casos, la adición del polvo de extracto de yerba mate mostró un aumento en el tiempo requerido para oxidar la mayonesa y una gran capacidad antioxidante debido a su alto contenido de polifenoles totales presentes en el extracto de yerba mate. Sin embargo, los resultados indicaron que la capacidad antioxidante del polvo encapsulado con maltodextrina por el método spray drying obtuvo la mejor estabilidad oxidativa en comparación con el polvo obtenido mediante freeze drying. Por lo tanto, las micropartículas obtenidas por spray drying pueden ser

consideradas un aditivo alimentario antioxidante natural con uso potencial en la industria alimentaria.

4.2.2. Digestión *in vitro*

Varios estudios consideraron la adición de micropartículas de polifenoles en alimentos sujetos a digestión *in vitro* (28 artículos). Sin embargo, estudios de liberación de compuestos fenólicos desde las micropartículas son escasos (1 artículo), pero fundamentales para definir su aplicabilidad en alimentos (Robert, 2016).

Pacheco et al. (2018) incorporaron extracto de hojas de olivo libre (OLE) y encapsulado con inulina a matrices de masa de gluten para determinar la retención y la bioaccesibilidad de la oleuropeína (OE) después de la digestión simulada *in vitro*. Para esto, luego del proceso de cocción (hervido y horneado) las masas fueron cortadas en pequeños pedazos para simular el proceso de masticación y luego fueron sometidas a un proceso de digestión *in vitro* simulando el proceso de digestión humana (oral, gástrica e intestinal). La digestión oral se realizó utilizando saliva artificial + α -amilasa y ajustando el pH a 7 con HCL 1N. La digestión gástrica se realizó ajustando el pH a 2 con HCL 1N y añadiendo pepsina y la digestión intestinal se realizó ajustando el pH a 6 con NaHCO_3 1M y adicionando una solución de pancreatina y sales biliares. Los resultados mostraron que el tipo de inclusión (extracto libre o microencapsulado) tuvo un efecto significativo ($P < 0,05$) en la bioaccesibilidad de la oleuropeína (~90 versus 73 mg OE/100 mg OE, para el uso de OLE y MP, respectivamente), mientras que los métodos de cocción (horneado y hervido) no mostraron diferencias estadísticamente significativas ya que para ambos métodos se observó una bioaccesibilidad superior al 60%. En cuanto al método de inclusión, la menor bioaccesibilidad de oleuropeína se mostró cuando se utilizó el extracto de olivo microencapsulado con inulina, lo que respalda la idea de que la inulina no se digiere durante la digestión gástrica y tampoco en el intestino delgado, lo que mejoraría la bioaccesibilidad en el intestino a nivel colónico. El estudio concluyó que las micropartículas con inulina protegen la OE durante la digestión *in vitro* y que se necesitan más estudios para confirmar las observaciones preliminares.

5. CONCLUSIONES

- La encapsulación de polifenoles permite la protección de los compuestos fenólicos frente a condiciones ambientales (temperatura, luz, oxígeno y humedad) y condiciones gastrointestinales (pH y enzimas) una vez consumidos.
- No existe un método de encapsulación universal para todos los polifenoles, ya que se utilizan diversos métodos como: secado por atomización (spray drying), liofilización (freeze drying), emulsión doble, gelificación iónica, extrusión, coacervación compleja, inclusión molecular y electrospraying. Sin embargo, de ellos, el secado por atomización es el más utilizado, con un aumento progresivo desde 2017 a 2020, debido a su amplia disponibilidad en varios países.
- En microencapsulación de polifenoles mediante secado por atomización, la aplicación de diseños estadísticos está tomando importancia. Las variables más estudiadas son la temperatura del aire de entrada, la temperatura del aire de salida, la concentración del agente encapsulante y la proporción del activo respecto al agente encapsulante.
- El biopolímero más utilizado en secado por atomización es la maltodextrina en forma individual ó mezclada con otros agentes encapsulantes. Otro agente encapsulante que destacó fue la goma arábica debido a sus propiedades como buena solubilidad, baja viscosidad y buenas características emulsificantes. Sin embargo, cuando se requiere controlar la liberación de los polifenoles o dirigir su liberación a un sitio-específico del tracto gastrointestinal, se utilizan polímeros como inulina y quitosano.
- La digestión *in vitro* permite determinar el comportamiento de las micropartículas en la digestión humana, simulando las fases cruciales del proceso de digestión (estómago, intestino delgado y menos frecuente el colon), de manera de estudiar idealmente la liberación de los polifenoles totales o individuales en cada compartimento.
- El estudio de la incorporación de polifenoles encapsulados a matrices alimentarias tiene como principal objetivo elaborar alimentos con beneficios para la salud, y mejorar la aceptación sensorial de algunos alimentos. Sin embargo, los estudios de liberación de los compuestos fenólicos desde las micropartículas incorporados en el alimento y sometidos a digestión *in vitro* son escasos, pero necesarios para el desarrollo de alimentos con un efecto beneficioso para la salud.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Ahmadian Z; Niazmand R; Pourfarzad. (2021). Microencapsulation of Saffron Petal Phenolic Extract: Their Characterization, In Vitro, Gastrointestinal Digestion, and Storage Stability. *Journal of Food Science*. 10:2745-2757. (<https://doi.org/10.1111/1750-3841G.14807>).
- Airouyuwa J; Kaewmanee T. (2019). Microencapsulation of Moringa oleifera leaf extracts with vegetable protein as wall materials. *Food Science and Technology International*. 6: 533-543. (<http://doi.org/10.1177/1082013219842469>)
- Alimentatec. (2011). Microencapsulación de compuestos activos funcionales. Disponible en: <https://alimentatec.com/microencapsulacion-de-compuestos-activos-funcionales/>
- Álvarez P; Cancino J; Fabella H; Cariño R; López E; Ariza J; Belefant H; Betanaszos G. (2021). Spray-drying microencapsulation of pomegranate juice increases its antioxidant activity after in vitro digestion. *International Journal of Food Science and Technology*. 10:5089-5096. <http://doi.org/10.1111/ijfs.15093>
- Alves V., Rico B., Cruz R., Vicente A., Khmelinskii I., Vieira M. (2018). Preparation and characterization of a chitosan film with grape seed extract carvacrol microcapsules and its effect on the shelf-life of refrigerated Salmon (*Salmo salar*). *LWT- Food Science and Technology*. 89: 525-534. (<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.11.013>).
- Aliakbarian B; Coelho F; Teles J; Grijó C; Lovaglio F; Casazza A; Converti A; Prego P. (2018). Optimization of spray drying microencapsulation of olive pomace polyphenols using Response Surface Methodology and Artificial Neural Network. *Food Science and Technology*. **93**: 220-228. (<http://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.03.048>).
- Anhe F., Desjardins Y., Pilon G., Dudonné S., Genovese M., Lajolo F., Marette A. (2013). Polyphenols and type 2 diabetes: A prospective review. *Pharma Nutrition*. 4: 105-114. (<http://dx.doi.org/10.1016/j.phanu.2013.07.004>)
- Anton, D., Bender I., Kaart T., Rosato M., Heinonen M., Luik A., Püssa T. (2017). Changes in polyphenols' contents and antioxidant capacities of organically and conventionally cultivated tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruits during ripening. *International Journal of Analytical Chemistry*: <https://doi.org/10.1155/2017/2367453>
- Aravind S., Wichienchot S., Tsao R., Ramakrishnan S., Chakkaravarhi S. (2021). Role of dietary polyphenols on gut microbiota, their metabolites and health benefits. *Sciencedirect*: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110189>.
- Azarpazhooh E; Sharayei P; Zomorodi S; Ramaswamy H. (2019). Physicochemical and Phytochemical Characterization and Storage Stability of Freeze-dried Encapsulated Pomegranate Peel Anthocyanin and In Vitro Evaluation of Its Antioxidant Activity. *Food and Bioprocess Technology*. 12:199-210. (<http://doi.org/10.1007/s11947-018-2195-1>).
- Barberán, T. (2003). Los polifenoles de los alimentos y la salud. *Alimentación, nutrición y salud*: **10**, 41-53.
- Berna, M. (2009). Obtención de microencapsulados funcionales de zumo de *Opuntia stricta* mediante secado por atomización. Universidad Politécnica de Cartagena. España.
- Bernardes A; Almeida J; Vas Toses M; Brunoro N; Ibrahim P; Vasconcelos A. (2019). In vitro bioaccessibility of microencapsulated phenolic compounds of jussara (*Euterpe edulis* Martius) fruit and application in gelatine model-system. *Food Science and Technology*. **102**, 173-180. (<http://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.12.009>).

- Berragrán B., Téllez Y., Laguna T. (2008). Utilización de residuos agroindustriales. *Revista Sistemas Ambientales*: **2**, 44-50.
- Buchi. (2021). Mini Spray Dryer B-290. [En línea: <https://www.buchi.com/es-es/content/spray-dryer-week>].
- Basic A., Komes D., Civitanovik A., Vojvodic A., Spoljaric I., Mrsic G., Miao S. (2018). The Potential of Combined Emulsification and Spray Drying Techniques for Encapsulation of Polyphenols from Rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) Leaves. *Food Technology & Biotechnology*. **4**:494-505. (<http://doi.org/10.17113/ftb.56.04.18.5680>)
- Boger B., Georegetti S., Kurozawa L. (2018). Microencapsulation of grape seed oil by spray drying. *Food Science and Technology*. <https://doi.org/10.1590/fst.04417>.
- Boyano L., Gallardo T., Meza O., Osorio G. (2020). Microencapsulation of Rambutan Peel Extract by Spray Drying. *Foods*. **9**(7):899. (<http://doi.org/10.3390/foods9070899>)
- Busch V., Pereyra A., Segatin N., Santagapita P., Poklar N. (2017). Propolis encapsulation by spray drying: Characterization and stability. *Food Science and Technology*: **75**: 227-235. (<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.08.055>)
- Canizales J; Basilio J; Domínguez A; Madera T; Villegas M; Robles R; Gonzáles G. (2019). Microencapsulation of blue maize (*Zea mays* L.) polyphenols in two matrices: their stability during storage and in vitro digestion release. *Journal of Food Measurement and Characterization*. **13**: 892-900. (<https://doi.org/10.1007/s11694-018-0003-2>).
- Castromonte M., Wacyk J., Valenzuela C. (2020). Encapsulación de extractos antioxidantes desde sub-productos agroindustriales: una revisión. *Revista Chilena de Nutrición* **47**: 836-847. (<https://dx.doi.org/10.4067/s0717-75182020000500836>)
- Cassol L; Zapata C. (2021). Microencapsulation and accelerated stability testing of bioactive compounds of *Hibiscus sabdariffa*. *Journal of Food Measurement and Characterization*. **15**: 1599-1610. (<http://doi.org/10.1007/s11694-020-00757-x>).
- Carneiro H., Tonon R., Grosso C., Hubinger M. (2013). Encapsulation efficiency and oxidative stability of flaxseed oil microencapsulated by spray drying using different combinations of wall materials. *Journal of Food Engineering*: **115**: 224-451. (<http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.03.03>)
- Cardona D; Patriño L; Ormaza A. (2021). Aspectos tecnológicos de la microencapsulación de compuestos bioactivos en alimentos mediante secado por aspersión. *Ciencia Tecnología Agropecuaria*: https://doi.org/10.21930/rcta.vol22_num1_art:1899
- Cenobio A; Díaz G; Medina G; Franco M; Ludeña F; Vieyra R; Campos R. (2019). Multiple Emulsions with Extracts of Cactus Pear Added in A Yogurt: Antioxidant Activity, In Vitro Simulated Digestion and Shelf Life. *Foods*: <http://doi.org/10.3390/foods8100429>
- Chaumon M., Goelo V., Ribeiro M., Rocha F., Estevinho B. (2020). In vitro evaluation of microparticles with *Laurusnobilis* L. extract prepared by spray-drying for application in food and pharmaceutical products. *Food and Bioprocess Technology* **122**: 124-135. (<http://doi.org/10.1016/j.fbp.2020.04.011>)
- Consuegra, V. (2014). Extracción de antioxidantes polifenólicos desde macroalgas *Macrocystis Pyrifera* y *Ulva Rigida*. Universidad de Chile, Santiago.
- Colín J., Rodríguez G., Pedroza R. (2009). Nanofibras de gliadina para la estabilización de antioxidantes extraídos de maíz azul. Universidad Iberoamericana. México.
- Covarrubias, A. (2018). Evaluación de las condiciones de encapsulación de extractos

de polifenoles y esteviósidos para su aplicación como aditivos en la industria alimentaria. Yucatán. México.

- Daza L, Fujita A; Granato D; Fávoro C; Genovese M. (2017). Functional properties of encapsulated Cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.) fruit extract. *Food Bioscience*. 18:15-21. (<https://doi.org/10.1016/j.fbio.2017.03.003>).
- Delgado, L. (2015). Mecanismos de acción implicados en la bioactividad de flavonoides. *Caenorhabditis elegans* y líneas celulares como sistemas modelo. Universidad de Salamanca.
- Desai, K., Park H. (2005). *Recent Developments in Microencapsulation of food ingredients*. Taylor & Francis. <http://doi.org/10.1081/DRT-200063478>.
- Domínguez J. (2007). *Optimización Multi-Objetivo en el Problema de Metodología de Superficie Multi-Respuesta*. Guanajuato. México.
- Dubey R., Shami T.C., Bhasker K.U. (2009). *Microencapsulation Technology and Applications*. *Defence Science Journal*: 59: 82-95. (<http://doi.org/10.14429/dsj.59.1489>)
- Ebrahimi A., Schuluesener H. (2012). Natural polyphenols against neurodegenerative disorders: Potentials and pitfalls. *Science Direct*. 11: 329-345. (<http://doi.org/10.1016/j.arr.2012.01.006>)
- Mohamed E., Younis R. (2018). Microencapsulation of red onion peel polyphenols fractions by freeze drying technicality and its application in cake. *Journal of Food Processing and Preservation*. 7: <http://doi.org/10.1111/jfpp.13654>
- Encina, C., Giménez, B., Márquez-Ruiz, G., Holgado, F., Vergara, C., Romero, P., Soto, E., Robert, P. (2020). Hydroxypropyl-inulin as a novel encapsulating agent of fish oil by conventional and water-free spray drying. *Food Hydrocolloids*: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106518>
- Estevinho B., Horciu I., Blaga A., Rocha F. (2021). Development of Controlled Delivery Functional Systems by Microencapsulation of Different Extracts of Plants: *Hypericum perforatum* L., *Salvia officinalis* L. and *Syzygium aromaticum*. *Food and Bioprocess Technology*. 14:1503–1517. (<https://doi.org/10.1007/s11947-021-02652-9>)
- Esquivel B., Ochoa L., Rutiaga O. (2015). Microencapsulación mediante secado por aspersión de compuestos activos. *Tecnología post-cosecha*. 16: 180-192. (<https://doi.org/10.22430/22565337.1836>).
- Fenoglio D., Soto D., Alarcón J., Ferrario M., Guerrero S., Matiacevich S. (2021). Active food additive based on encapsulated yerba mate (*Ilex paraguariensis*) extract: effect of drying methods on the oxidative stability of a real food matrix (mayonnaise) *Journal Food Science Technology*. 58: 1574-1584. (<https://doi.org/10.1007/s13197-020-04669-y>).
- Ferreira P., Ibarz R., Fernandes J., Pinheiro A., Botelho C., Rocha C., Texeira J., Belloso O. (2021). Encapsulated Pine Bark Polyphenolic Extract during Gastrointestinal Digestion: Bioaccessibility, Bioactivity and Oxidative Stress Prevention. *Foods*. (<https://doi.org/10.3390/foods10020328>)
- Fernández, S. (2020). *Diseño de experimentos: Diseño factorial*. Universidad politécnica de Catalunya. Barcelona.
- Fredes C; Osorio M; Parada J; Robert P. (2018). Stability and bioaccessibility of anthocyanins from maqui (*Aristotelia chilensis* [Mol.] Stuntz) juice microparticles. *Food Science and Technology*. 97: 549-556. (<http://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.01.090>).
- Flamminii F; Di C; N Ardella M; Chiarini M; V Albonetti L; Neri L; Difronzo G; Pittia P. (2020). Structuring alginate beads with different biopolymers for the development

- of functional ingredients loaded with olive leaves phenolic extract. *Food Hydrocolloids*: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105849>
- García, P. (2012). Desarrollo de micropartículas de liberación controlada de compuestos bioactivos (antioxidantes), utilizando diferentes tipos de inulina modificada químicamente como agente encapsulante y su aplicación a matrices alimentarias modelos. Universidad de Chile, Santiago.
 - Gharsallaoui A., Roudaut G., Chambin O., Voilley A., Saurel R. (2007). Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. *Food Research International*: 40: 1107-1121. (<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2007.07.004>).
 - Ghahroudi F; Mizani M; Rezaei K; Bameni M. (2017). Mixed extracts of green tea and orange peel encapsulated and impregnated on black tea bag paper to be used as a functional drink. *International Journal of Food Science and Technology*. 52: 1534-1542. (<https://doi.org/10.1111/ijfs.13439>).
 - GEA, 2021. Sistema de secado por atomización. [En línea: <https://www.gea.com/es/products/emission-control/gas-cleaning/spray-dryer-absorber.jsp>].
 - Gómez L., Hernández M., Tarancón P., Tenon M., Fuillère N., Vélez J., Fiszman S., López A. (2017). Impact of microencapsulation within electrosprayed proteins on the formulation of green tea extract-enriched biscuits. *LWT- Food Science and Technology*. 81: 77-86. (<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.03.041>)
 - González N. (2012). Planteamiento y Optimización de Experimentos Analíticos. Universidad Politécnica de Catalunya. Barcelona.
 - González E; Gómez A; Giménez B; Cebrián R; Maqueda M; Parada J; Martínez A; Segura A; Robert P. (2020). Role of maltodextrin and inulin as encapsulating agents on the protection of oleuropein during in vitro gastrointestinal digestion. *Food Chemistry*. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125976>
 - González E., Gómez A., Giménez B., Cebrián R., Maqueda M., Martínez A., Carretero A., Robert P. (2019). Evolution of the phenolic compound profile of spray-dried encapsulated olive leaf extract during gastrointestinal digestion in vitro. *Science Direct*: <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.11.127>
 - Grassia M; Sarghini F; Bruno M; Cinquanta L; Scognamiglio M; Pacifico S; Fiorentino A; Geraci A; Schicchi R; Corona O. (2021). Chemical composition and microencapsulation suitability of sumac (*Rhus coriaria* L.) fruit extract. *European Food Research and Technology*. 247: 1133-1148. (10.1007/s00217-021-03694-1)
 - Guzmán D; Treviño M; Rodríguez B; Gallardo C; Amaya C; Baéz J. (2019). Development and Characterization of Gelled Double Emulsions Based on Chia (*Salvia hispanica* L.) Mucilage Mixed with Different Biopolymers and Loaded with Green Tea Extract (*Camellia sinensis*). *Foods*. <http://doi.org/10.3390/foods8120677>
 - Halliwell B. (1995). Antioxidant Characterization, methodology and mechanism. *Biochemical Pharmacology*: 10: 1341-1348. ([https://doi.org/10.1016/0006-2952\(95\)00088-H](https://doi.org/10.1016/0006-2952(95)00088-H)).
 - Hasna, E. (2009). Polyphenols: food sources, properties and applications- a review. *International Journal of Food Science & Technology*: 12: 2512-2518. (<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2009.02077.x>).
 - Hidalgo A., Brandolini A., Čanadanović J., Četković G., Tumbas V. (2018). Microencapsulates and extracts from red beetroot pomace modify antioxidant

- capacity, heat damage and colour of pseudocereals-enriched einkorn water biscuits. *Food Chemistry*. 268: 40-48. (10.1016/j.foodchem.2018.06.062).
- Iturri M; Barros C; Prentice C. (2021). Microparticles of *Eugenia stipitata* Pulp obtained by spray-drying guided by DSC: An analysis of bioactivity and in vitro gastrointestinal digestion. *Food Chemistry*. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127557>.
 - Ivanova M., Balabanova T., Traycheva N., Ognyanov M. (2018). Food design of dairy desserts with encapsulated cornelian cherry, chokeberry and blackberry juices. *Food Technology*. 1: 137-146.
 - Shishir, M.R., y Chen, W. (2017). Trends of spray drying: A critical review on drying of fruit and vegetable juices. *Trends in Food Science and Technology*, 65, 49-67.
 - Janiszewska E; Hornowska L; Pobiega K; Gniewosz M; Witrowa D (2020). The influence of *Lactobacillus* bacteria type and kind of carrier on the properties of spray-dried microencapsules of fermented beetroot powders. *International Journal of Food Science and Technology*. 56: 2166-2174. (<http://doi.org/10.1111/ijfs.14915>).
 - Jansen-Alves C., Krumreich F., Zandoná G., Gualarte M., Borges C., Zambiasi R. (2019). Production of Propolis Extract Microparticles with Concentrated Pea Protein for Application in Food. *Food and Bioprocess Technology*. 12: 729-740. (<https://doi.org/10.1007/s11947-019-2246-2>).
 - Kaderides K., Mourtzinou I., Goula A. (2020). Stability of pomegranate peel polyphenols encapsulated in orange juice industry by-product and their incorporation in cookies. *Food Chemistry*: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125849>
 - Kenyon, M. (2013). Modified Starch, Maltodextrin, and Corn Syrup Solids as Wall Materials for Food Encapsulation. *Encapsulation and Controlled Release of Food Ingredients*: <http://doi.org/10.1021/bk-1995-0590.ch004>
 - Khalifa I; Li M; Mamet; Li C. (2019). Maltodextrin or gum Arabic with whey proteins as wall-material blends increased the stability and physicochemical characteristics of mulberry microparticles. *Food Bioscience*: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2019.100445>.
 - Kosaraju S. (2005). Colon Targeted Delivery Systems: Review of Polysaccharides for Encapsulation and Delivery. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 45: 251-259. (<http://doi.org/10.1080/10408690490478091>)
 - Lachowicz S., Świeca M., Pejcz E. (2021). Biological activity, phytochemical parameters, and potential bioaccessibility of wheat bread enriched with powder and microcapsules made from Saskatoon berry. *Food Chemistry*: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128026>
 - Leopoldini M., Russo N., Toscano M. (2011). The molecular basis of working mechanism of natural polyphenolic antioxidants. *Food Chemistry*: 125: 288-306. (<http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.08.012>)
 - Li Y; Tang B; Chen J; Lai P. (2018). Microencapsulation of plum (*Prunus salicina* Lindl.) phenolics by spray drying technology and storage stability. *Food Science and Technology*: <https://doi.org/10.1590/1678-457X.09817>
 - Lima E; Henriques S; Carvalho M; Silva P. (2019). Effect of encapsulating agent and drying air temperature on the characteristics of microcapsules of anthocyanins and polyphenols from juçara (*Euterpe edulis* Martius). *International Food Research Journal*. 26: 607-617.
 - Lluva M. (2019). Métodos analíticos para la determinación de antioxidantes en el vino. Universidad Complutense.

- Losada S., Bravo C. (2017). Free radicals and polyphenols: The redox chemistry of neurodegenerative diseases. *European Journal of medicinal Chemistry*. 133: 379-40. (<https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2017.03.061>).
- López A. (2012). Desarrollo de sistemas de encapsulación compuestos para la protección de extractos antioxidantes de Yerba Mate. Universidad de la plata. Argentina.
- Lozano M. (2009). Obtención de microencapsulados funcionales de zumo de *Opuntia stricta* mediante secado por atomización. Universidad Politécnica de Cartagena.
- Malekjani N., Mahdi S. (2020). Modeling the release of food bioactive ingredients from carriers/nanocarriers by the empirical, semiempirical, and mechanistic models. *Comprehensive reviews Food science and food safety*: 20, 3.47. (10.1111/1541-4337.12660)
- Manach C., Scalbert A., Morand C., Rémésy C & Jiménez L. (2004). Polyphenols: food sources and bioavailability. *The American Journal of Clinical Nutrition*.5: 727-747. (<https://doi.org/10.1093/ajcn/79.5.727>)
- Marinelli V., Spinelli S., Angiolillo L., Del Nobile M., Conte A. (2019). Emerging techniques applied to by-products for Food fortification. *Journal Food Science Technology*: 57: 905-914. (<http://doi.org/10.1007/s13197-019-04123-8>).
- Martínez L. (2007). Obtención y caracterización de almidones de malanga, arroz y maíz ceroso modificados por extrusión termoplástica para su uso como encapsulantes de aceite esencial de naranja. Universidad Veracruzana. México.
- Mazuco R; Martins P; Satório É; Scherer R; Oliveira R; Gomes A; Gomes F; Pinto J; Cunegundes M; Uggere T; Lenz D; Castro Ferñão; Coutinho C. (2018). Maltodextrin and Gum Arabic-Based Microencapsulation Methods for Anthocyanin Preservation in Juçara Palm (*Euterpe edulis Martius*) Fruit Pulp. *Plant Foods for Human Nutrition* (2018). 73: 209-215. (10.1007/s11130-018-0676-z).
- Mensink M, et al. (2015). Inulin a flexible oligosaccharide I: Review of its physicochemical characteristics. 130: 405-419. (<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.05.026>).
- Milea A; Mihaela A; Circiumaru A; Dumitrascu L; Barbu V; Râpeanu G; Elana G; Stanciuc N. (2019). Valorizations of Sweet Cherries Skins Phytochemicals by Extraction, Microencapsulation and Development of Value-Added Food Products. *Foods*: <http://doi.org/10.3390/foods8060188>
- Minekus M., Alvinger M., Alvito P., Balance S., Bohn T., Bourlieu C., Carriere F., Boutrou R., Corredig M., Dupont D., Dufour C., Egger L., Golding M., Karakaya S., Kirkhus B., Le Feunteun S., Lesmes U., Macierzanka A., Mackie A., Marze S., McClements D., Ménard O., Recio I., Santos C. N., Singh R. P., Vegarud G. E., Wickham M. S. J., Weitschies W., Brodkorb A. (2014). A standardized static in vitro digestion method suitable for food an international consensus. *Food &Function*. 5: 1113-1124. (<http://doi.org/10.1039/c3fo60702j>).
- Mohammed N, Tan C., Manap Y., Muhiadin B., Meor A. (2020). Spray drying for the encapsulation of Oils-A review. *Molecules*: <http://doi.org/10.3390/molecules25173873>
- Moreno T; Cocero M; Rodríguez S. (2018). Storage stability and simulated gastrointestinal release of spray dried grape marc phenolics. *Food and Bioproducts Processing*. 112: 96-107. (<http://doi.org/10.1016/j.fbp.2018.08.011>).
- Morelo G; Márquez G; Holgado F; Giménez B; Robert P. (2017). Design of flavonoid microparticles with channel forming properties to improve oxidative stability of sunflower oil. *European Journal of Lipid Science and Technology*: <http://doi.org/10.1002/ejlt.201700041>.

- Moura S; Schettini G; García A; Gallina D; Alvim I; Hubinger M. (2019). Stability of Hibiscus Extract Encapsulated by Ionic Gelation Incorporated in Yogurt. *Food and Bioprocess Technology*. 12: 1500–1515. (<https://doi.org/10.1007/s11947-019-02308-9>).
- Moura S; Berling C; Garcia A; Queiroz M; Alvin I; Hubinger M. (2019). Release of anthocyanins from the hibiscus extract encapsulated by ionic gelation and application of microparticles in jelly candy. *Food Research International*. 121: 542-552. (<http://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.12.010>).
- Muangrat R., Ravichai K., Jirattananangsrri. (2019). Encapsulation of polyphenols from fermented wastewater of Miang processing by freeze drying using a maltodextrin/gum Arabic mixture as coating material. *Food Processing and Preservation*: (<http://doi.org/10.1111/jfpp.13908>).
- Nakilcioglu E; Otles S. (2020). Polyphenols from olive stones: extraction with a pilot scale pressurized water extractor, microencapsulation by spray-dryer and storage stability evaluation. *Journal of Food Measurement and Characterization*: 12: 849-861. (<http://doi.org/10.1007/s11694-019-00333-y>).
- Navidad -Murrieta MS; Pérez -Larios A; Sánchez J; Ragazzo J; Luna G; Sáyo S. (2020). Use of a Taguchi Design in Hibiscus sabdariffa Extracts Encapsulated by Spray-Drying. *Foods*: <http://doi.org/10.3390/foods9020128>
- Oancea A; Hasan M; Mihaela A; Barbu V; Enachi E; Bagrun G; Râpenau G; Silvi S; Stănciuc N. (2018). Functional evaluation of microencapsulated anthocyanins from sour cherries skins extracts in whey proteins isolate. *Food Science and Technology*. 95: 129-134. (<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.04.083>).
- Oral R. New perspectives for the encapsulation of hydrophilic compounds. (2017). *Journal of Food Processing and Preservation*: <http://doi.org/10.1111/jfpp.12967>.
- Ostroschi L; Brito V; Echalar M; Tulini F; Aline T; Thomazini M; Baliero J; Toudaut G; Genocese M; Favaro C. (2018). Production of spray-dried proanthocyanidin-rich cinnamon (*Cinnamomum zeylanicum*) extract as a potential functional ingredient: Improvement of stability, sensory aspects, and technological properties. *Food Hydrocolloids*. 79: 343-351. (<http://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.01.007>).
- Pacheco C., González E., Robert P., Parada J. (2018). Retention and pre-colon bioaccessibility of oleuropein in starchy Food matrices, and the effect of microencapsulation by using inulin. *Journal of Functional Foods*. 41: 112-117. (<https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.12.037>).
- Paul A; Banerjee K; Goon A; Saha S. (2018). Chemo-profiling of anthocyanins and fatty acids present in pomegranate aril and seed grown in Indian condition and its bioaccessibility study. *Food Science and Technology*. 55: 2488-2496. (<http://doi.org/10.1007/s13197-018-3166-2>).
- Papillo V; Locatelli M; Travaglia F; Bordiga M; Garino C; Coisson J; Arlorio M. (2019). Cocoa hulls polyphenols stabilized my microencapsulation as functional ingredient for bakery applications. *Food Research International*. 115: 511-518. (<http://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.10.004>).
- Papillo V; Locatelli M; Travaglia F; Bordiga M; Garino C; Coisson J; Arlorio M. (2018). Spray dried polyphenolic extract from Italian black rice (*Oryza sativa* L., var. Artemide) as new ingredient for bakery products. *Food Chemistry*. 269: 603-609. (<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.07.059>).
- Pacheco C; González E; Robert P; Parada J. (2018). Retention and pre-colon bioaccessibility of oleuropein in starchy Food matrices, and the effect of microencapsulation by using inulin. *Journal of Functional Foods*. 41: 112-117. (<https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.12.037>).

- Paulo F; Paula V; Estevinho L; Santos L. (2021). Propolis microencapsulation by double emulsion solvent evaporation approach: Comparison of different polymeric matrices and extract to polymer ratio. *Food and Bioproducts Processing*. 127: 408-425. (<https://doi.org/10.1016/j.fbp.2021.03.019>).
- Peanparkdee M., Iwamoto S. (2020). Encapsulation for Improving in Vitro Gastrointestinal Digestion of Plant Polyphenols and Their Applications in Food Products. *Food Reviews International*: <http://doi.org/10.1080/87559129.2020.1733595>
- Petrovic J; Pajin B; Lonc`arevic´ I; Tumbas V; Nikolic´ I, Ac`kar D; Zaric´ D. (2018). Encapsulated sour cherry pomace extract: Effect on the colour and rheology of cookie dough. *Food Science and Technology International*. <http://doi.org/10.1177/1082013218802027>
- Pinheiro A; Livania A; Cordeiro R; Richter A; Machado P; Ribeiro L; Wilane R. (2020). Acerola by-product as a renewable source of bioactive compounds: arabic gum and maltodextrin nanocapsules. *Food Science and Technology*: <https://doi.org/10.1590/fst.22819>
- Poshardi A., Kuna A. (2010). Microencapsulation technology: A review. *Research gate*: <https://www.researchgate.net/publication/284695566>.
- Quiñones M., Miguel M., Alexandre. A. (2011). Los polifenoles, compuestos de origen natural con efectos saludables sobre el sistema cardiovascular. *Nutrición Hospitalaria*: <http://doi.org/10.3305/nh.2012.27.1.5418>
- Ramírez M. (2013). Evaluación de variables de un proceso de microencapsulación para la estabilización de polifenoles. Universidad nacional de Colombia. Colombia.
- Reliability Hot Wire. Taguchi Orthogonal Array Designs. (2012). Disponible en: <https://www.weibull.com/hotwire/issue131/hottopics131.htm>
- Reis B., Martins de Oliveira P., GElfuso G., Cardoso T., Chaker J., de Olivera M., Fortes E. (2018). Improving stability of antioxidant compounds from *Plinia cauliflora* (jaboticaba) fruit peel extract by encapsulation in chitosan microparticles. *Journal of Food Engineering*: 238: 195-201. (<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.06.004>).
- Ribeiro A., Estevinho B., Rocha F. (2020). Edible Films Prepared with Different Biopolymers, Containing Polyphenols Extracted from Elderberry (*Sambucus Nigra* L.), to Protect Food Products and to Improve Food Functionality. *Food and Bioprocess Technology*. 13: 1742-1751. (<https://doi.org/10.1007/s11947-021-02652-9>).
- Ribeiro A., Estevinho B., Rocha F. (2019). Spray Drying Encapsulation of Elderberry Extract and Evaluating the Release and Stability of Phenolic Compounds in Encapsulated Powders. *Food and Bioprocess Technology*: 12: 1381-1394. (<http://doi.org/10.1007/s11947-019-02304-z>)
- Ríos S; Gil M. (2021). Microencapsulación por secado por aspersion de compuestos bioactivos en diversas matrices: una revisión. Medellín. Colombia.
- Robert P., Giménez B. (2016). Encapsulación de ingredientes: avances y oportunidades. *Ciencia y tecnología para el desarrollo*. 3.4: 65- 74.
- Robert, P., García, P., & Fredes, C. (2017). Drying and preservation of polyphenols. *Advances in technologies for producing food-relevant polyphenols* (pp. 281–302). USA: CRC Press/Taylor and Francis Group.
- Rodríguez J; Uresti R; Soto M; Santiago T; Ortiz A. (2020). Evaluation of spray-drying's operable condition for obtaining orange juice powder: effects on physicochemical properties. *CyTA Journal Food*: <https://doi.org/10.1080/19476337.2020.1728388>

- Ruales A., Rojas F., Cardona C. 2017. Obtención de compuestos fenólicos a partir de residuos de uva isabella (*Vitis labrusca*). Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial: [http://doi.org/10.18684/bsaa\(v15\)EdiciónEspecialn2.580](http://doi.org/10.18684/bsaa(v15)EdiciónEspecialn2.580).
- Sajadimajd S., Bahramsoltani R., Iranpanah A., Kumar J., Das G., Gouda D., Rahimi R., Rezaeihamiri E., Cao H., Giampieri F., Battino M., Tundis R., Campos M., Hosein M., Xiao J. (2020). Advances on Natural Polyphenols as Anticancer Agents for Skin Cancer. *Pharmacological research*: <https://doi.org/10.1016/j.phrs.2019.104584>
- Sánchez Z. (2016). Evaluación de propiedades fisicoquímicas, morfológicas y sensoriales de microencapsulados de cacao obtenidos por spray drying. Bogotá. Colombia.
- Serna J., Torres L (2017). Procedimiento de encapsulación de polifenoles de pitahaya amarilla (*Elenicereus Megalanthus*). Disponible en: <https://patents.google.com/patent/WO2017042642A1/es>
- Sepelevs I; Stepanova V; Galoburda R. (2018). Encapsulation of Gallic Acid with Acid-Modified Low Dextrose Equivalent Potato Starch Using Spray- and Freeze-Drying Techniques. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*. 3: 273-280. (<http://doi.org/10.1515/pjfn-2018-0006>).
- Sharma, R. (2014). Polyphenols in Health and Disease: Practice and Mechanisms of Benefits. *Polyphenols in Human Health and Disease: Chapter: 59: 757-778*. (<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-398456-2.00059-1>).
- Sibaja, R. 2015. Propiedades fisicoquímicas y funcionales de las gomas de Acacia cochilacantha y Acacia farnesiana. Yatupec. México.
- Silva F., Torres L., Silva L., Figueiredo R., Garruti D., Araújo T., Duarte A., Brito D., Ricardo N. (2018). Cashew gum and maltodextrin particles for green tea (*Camellia sinensis* var *Assamica*) extract encapsulation. *Food Chemistry*: 261: 19-175. (<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.04.028>) .
- Silvina, G., López, L., Córscico F., Larrosa V. (2019). Cápsulas de alginato para la protección de polifenoles presentes en el aceite esencial de orégano. Universidad Nacional Entre Ríos. Argentina.
- SMI. Instituto para la medición y evaluación de la salud. (2013). La carga mundial de morbilidad: Generar evidencia, Orientar políticas. Disponible en: http://www.healthdata.org/sites/default/files/files/policy_report/2013/WB_LatinAmericaCaribbean/IHME_GBD_WorldBank_LatinAmericaCaribbean_FullReport_SPA_NISH.pdf
- Soares dos Reis A., Diedrich C., Moura C., Pereira D., de Flório J., da Silva L., Plata M., Weschenfelder R., Teresinha S. (2017). Physico-chemical characteristics of microencapsulated propolis co-product extract and its effect on storage stability of burger meat during storage at -15°C. *LWT-Food Science and Technology*. 76: 306-313. (<http://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.05.033>).
- Sobieralska M., Andrzej M. (2019). Beta-Glucan as Wall Material in Encapsulation of Elderberry (*Sambucus nigra*) Extract. *Plant Foods for Human Nutrition*: 74: 334-341.
- Sousa D., Ramírez E., Días R., de Moiras C., Ramirez D., Lopes I., de Souza E. (2021). Microencapsulation of jabuticaba extracts (*Myrciaria cauliflora*): Evaluation of their bioactive and thermal properties in cassava starch biscuits. *LWT*: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110460>
- Suganya V., Anuradha V. (2017). Microencapsulation and Nanoencapsulation: A Review. *International Journal of Pharmaceutical and Clinical Research*: 9: 233-239. (<http://doi.org/10.25258/ijpcr.v9i3.8324>).
- Toledo Karen; Gallardo T; Terrazas F; Osorio G. (2019). Spray drying microencapsulation of purple cactus pear (*Opuntia ficus indica*) peel extract and

- storage stability of bioactive compounds. *Emirates Journal of Food and Agriculture*. <http://doi.org/10.9755/ejfa.2019.v31.i12.2046>
- Tolun A; Artik N; Altintas Z. (2020). Effect of different microencapsulating materials and relative humidities on storage stability of microencapsulated grape pomace extract. *Food Chemistry*: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125347>
 - Toledo K; Gallardo T; Terrazas F; Osorio G. (2019). Spray drying microencapsulation of purple cactus pear (*Opuntia ficus indica*) peel extract and storage stability of bioactive compounds. *Emirates Journal of Food and Agriculture*. 31: 958-968. (<http://doi.org/10.9755/ejfa.2019.v31.i12.2046>).
 - Tsao R. (2010). Chemistry and Biochemistry of Dietary Polyphenols. *Nutrients* 2010. 2: 1231-1246. (<https://doi.org/10.3390/nu2121231>).
 - Trillo J. (2015). Extracción y purificación de productos naturales de interés industrial. Universidad de Almería.
 - Turrini F., Boggia R., Donno D., Parodi B., Beccaro G., Baldassaril S., Signorello M., Carena S., Alfei S., Zunin P. (2020). From pomegranate marcs to a potential bioactive ingredient: a recycling proposal for pomegranate-squeezed marcs. *European Food Research and Technology*: <https://doi.org/10.1007/s00217-019-03339-4>
 - Turkiewicz I; Wojdylo A; Tkacz K; Lech K; Michalaska A; Nowicka P. (2020). The influence of different carrier agents and drying techniques on physical and chemical characterization of Japanese quince (*Chaenomeles japonica*) microencapsulation powder. *Food Chemistry*. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126830>
 - Tylewicz U., Nowacka M., García B., Wiktor A., Gómez A. (2018). Target sources of polyphenols in different food products and their processing by-products. *Polyphenols: Properties, Recovery, and Applications*. 5: 135-175. (<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813572-3.00005-1>).
 - Urra C., Soto C., Zuñiga M. (2015). Propiedades antioxidantes de residuos (semillas y cáscara) de la agroindustria de palta (*Persea Americana*) en Chile. Facultad de Ingeniería. Valparaíso, Chile.
 - Urzúa CE; Gonzáles E; Dueik V; Bouchon P; Giménez B; Robert P. (2017). Olive leaves extract encapsulated by spray-drying in vacuum fried starch–gluten doughs. *Food and Bioproducts Processing*. 106: 171-180. (<https://doi.org/10.1016/j.fbp.2017.10.001>).
 - Vega, J. (2011). Obtención y caracterización de inulina entrecruzada como agente encapsulante de a-tocoferol. Universidad de Chile, Chile.
 - Villena M., Morales M., Gallardo V., Ruiz M. (2009). Técnicas de microencapsulación: una propuesta para microencapsular probióticos. *ARP Farmaceutica*: 50: 43-50.
 - Weber F., Kerstin B., Schieber A. (2017). Influence of copigmentation on the stability of spray dried anthocyanins from blackberry. *LWT-Food Science and Technology*. 75:72-77. (<http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2016.08.042>)
 - Wilmer S., Murillo E., Méndez J. (2010). Potencial antioxidante de residuos agroindustriales de tres frutas de alto consumo en el tolima. Universidad Tecnológica de Pereira.
 - Wilkowska A; Czyzowska A; Ambroziak W; Adamiec J. (2017). Structural, physicochemical, and biological properties of spray-dried wine powders. *Food Chemistry*. 228: 77-84. (<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.01.115>).
 - Wilkowska A., Ambroziak W., Adamiec J., Czyzowska. (2016). Preservation of Antioxidant activity and Polyphenols in chokeberry juice and wine with the use of microencapsulation. *Journal of Food Processing and Prevention*: 1745-4549. (<https://doi.org/10.1111/jfpp.12924>).

- Wright J., Jhonson E., DiLabio A. (2001). Predicting the Activity of Phenolic Antioxidants: Theoretical Method, Analysis of Substituent Effects, and Application to Major Families of Antioxidants. American Chemical Society. 123: 1173-1183. (<http://doi.org/10.1021/ja002455u>)
- Xu Liang., Cheng J., Liu X., Zhu M. (2019). Effect of microencapsulated process on stability of mulberry polyphenol and oxidation property of dried minced pork slices during heat processing and storage. LWT-Food Science and Technology. 100: 62-68. (<http://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.10.025>).
- Yagmur N., Sahin S. (2020). Encapsulation of ellagic acid from pomegranate peels in microalgae optimized by response surface methodology and an investigation of its controlled released under simulated gastrointestinal studies. Journal of Food Science: <http://doi.org/10.1111/1750-3841.15085>.
- Yang H., Qiuying Li., Yang L., Sun T., Li X., Zhou B., Li J. (2020). The competitive release kinetics and synergistic antibacterial characteristics of tea polyphenols/ ϵ -poly-L-lysine hydrochloride core-shell microcapsules against *Shewanella putrefaciens*. Food Science and Technology. 55: 3542-3552. (<http://doi.org/10.1111/ijfs.14687>).
- Ydjedd S; Bouriche S; López R; Sánchez T; Frontela C; Ros G; Rezgui F; Louaileche H; Edine D. (2021). Effect of in Vitro Gastrointestinal Digestion on Encapsulated and Nonencapsulated Phenolic Compounds of Carob (*Ceratonia siliqua* L.) Pulp Extracts and Their Antioxidant Capacity. Journal of Agricultural and Food Chemistry: <http://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b05103>
- Zhao X., Ai Y., Hu Y., Wang Y., Zhao L., Yang D., Chen F., Wu X., Li Y., Liao X. (2020). Masking the Perceived Astringency of Proanthocyanidins in Beverages Using Oxidized Starch Hydrogel Microencapsulation. Foods: <http://doi.org/10.3390/foods9060756>
- Zuñiga M. (2007). Desarrollo de un proceso biotecnológico para la revalorización de descartes en la industria de procesamiento de berries. Disponible en: https://www.conicyt.cl/wp-content/themes/fondef/encuentra_proyectos/PROYECTO/07/I/D07I1045.html].

7. ANEXOS

Anexo 1.

Tabla 4. Información obtenida mediante “polyphenols microencapsulation”, correspondiente a 133 artículos.

Fuente	Compuesto activo	Agente encapsulante	Método de encapsulación	Variables del proceso	Eficiencia de encapsulación	Digestión gastrointestinal <i>in vitro</i>	Efectos	Referencia
Orégano	Aceite esencial de orégano	Gelatina Goma arábica	Coacervación compleja	Gelatina: Goma arábica 1:1 (p/p) pH 4,95 x 20 min x 10°C pH 6 x 3 h x -40°C -90°C x 1 Pa x 48 h	88,30%	-	-	Shi et al., 2021
Propóleo rojo	Polifenoles	Poli (d, l-lactida-co-glicólico) Etilcelulosa Policaprolactona	Emulsión doble (W1/O/W2)	Proporción de extracto de propóleo : Polímero 1:4; 1:2; 3:4 Fase W1 Etanol/ Agua (70/30) Fase O 100 mg de etilcelulosa en 10 mL diclorometano Emulsión W1/O 1 mL de w1 a O Emulsión W1/O/W2 Solución W1/O añadida en una solución de PVA 1% (p/p)	PLGA 98,2-99% EC 98-100% PCL 98,3-99,5 %	-	-	Paulo et al., 2021
Hpérico (<i>Hypericum perforatum</i> L.) Salvia (<i>Salvia officinalis</i> L.) Clavo de olor (<i>Syzygium aromaticum</i>)	Rutina Ácido gálico	Quitosano modificado	Spray drying	Caudal: 4 mL/min Temperatura de entrada de aire: 115°C Temperatura de salida: 58°C Presión del aire: 5-6 bar	≈ 100 %	pH	Para todas las micropartículas, la liberación fue total y el tiempo de liberación varió con el agente encapsulante. En todos los casos la liberación se realizó en menos de 70 minutos. La liberación más rápida se obtuvo para las micropartículas que contenían ácido gálico y rutina, seguida de las micropartículas que contenían extractos acuosos de las plantas. Las micropartículas que se prepararon con extractos etanólicos tuvieron una liberación menor y un rendimiento de producto más pequeño en comparación con las micropartículas preparadas con extractos acuosos.	Estevinho et al., 2021
Lavanda (<i>Lavandula hybrida</i>) Menta (<i>Mentha piperita</i> L.) Salvia (<i>Salvia officinalis</i> L.) Tomillo (<i>Thymus serpyllum</i> L.) Balsamo de limón (<i>Melissa officinalis</i> L.)	Polifenoles	Alginato de sodio	Extrusión por goteo	Alginato 3% (p/p) Caudal 100 uL/min 2% p/p solución CaCl2	Lavanda (11%) Balsamo de limón (18%) Menta (12%) Salvia (9%) Tomillo (30%)	-		Benkovinc., et al 2021
Aceite de linaza	Polifenol de linaza (FPP) Hidroxitiroso (HT)	Aislado de proteína de linaza-Hidroxitiroso/ Goma de linaza Aislado de proteína de linaza- polifenol de linaza/ Goma de linaza	Coacervación compleja	pH 4,6 para Aislado de proteína de linaza-Hidroxitiroso/ Goma de linaza. 4,5 para Aislado de proteína de linaza- polifenol de linaza/ Goma de linaza. [] material a encapsular Solución de Aislado de proteína de linaza: 6% p/p Solución de gelatina de linaza: 1 % p/p	Nr	Boca: alfa-amilasa de saliva humana Estómago: Pepsina de mucosa gástrica de porcino Intestino: Sal biliar Pancreatina de páncrea de porcino	La mayor parte del aceite encapsulado se liberó en la etapa intestinal (66-80%) y entre el 5 y el 17% se liberó en la etapa gástrica. La liberación de FO fue mayor (80%) en las microcápsulas (FPI-HT) / FG / FO. Por otro lado las microcápsulas (FPI-FPP) / FG / FO liberaron la menor cantidad de aceite (66,3%).	Pham et al., 2021
Jugo de granada	Polifenoles (Antocianinas)	Maltodextrina Goma arábica	Spray drying	Maltodextrina-Goma arábica 4:1 Temperatura de entrada de aire: 110°C Flujo de bomba 600 mL/min	75,10%	Boca: pH 2 Estómago: Solución de pepsina Intestino: Solución de pancreatín-bilis * Polifenoles Totales	El contenido fenólico total y la actividad antioxidante de el jugo de granada microencapsulado fue medido antes y después de la acción de las enzimas digestivas usadas en la digestión <i>in vitro</i> . Los compuestos antioxidantes en las microcápsulas fueron liberados después de la digestión <i>in vitro</i> , lo que resultó en más contenido fenólico total y actividad antioxidante que en las micropartículas sin digerir. En ambos casos el aumento fue significativo más que el 100%.	Ávarez et al., 2021

Bayas de Saskatoon (Amelanchier alnifolia)	Polifenoles (Perfil de polifenoles)	Maltodextrina Inulina	Freeze drying	70% fruta molida 30% Material de pared (Maltodextrina o Inulina) 200 g de muestra 65 Pa Temperatura cámara de secado: -60°C Temperatura placa de calentamiento: 30°C	Nr	Boca: Líquido salivar simulado Tampon PBS Estómago: pH 3 Intestino: pH 7	La digestión <i>in vitro</i> liberó los compuestos antioxidantes lo que significó una mayor bioaccesibilidad de los panes enriquecidos con las microcápsulas.	Lachowicz et al., 2021
Corteza de <i>Pinus pinaster L.</i>	Polifenoles (Perfil de polifenoles)	Maltodextrina	Spray drying	Diseño estadístico Temperatura de entrada de aire: 140-180 °C Relación LPBE:MD 1:25-1:35 (p/p) Tasa de flujo 1-4 mL/min	Óptimo 67% (TPC)	Procedimiento estandarizado de digestión INFOGEST *Polifenoles totales	El contenido total de polifenoles disminuyó fuertemente después de la digestión <i>in vitro</i> en comparación con LPBE o digerido. La encapsulación de LPBE con maltodextrina provocó que la degradación de los compuestos fenólicos fuera más lenta en condiciones gastro intestinales en comparación con el extracto no encapsulado (LPBE). Este estudio demuestra que los compuestos fenólicos son inestables frente a condiciones gástricas que pueden deberse a la presencia de enzimas y el pH.	Ferreira et al., 2021
Jabucaba (<i>Myrciaria cauliflora</i>)	Polifenoles	Alginato de sodio Quitosano	Extrusión por goteo	20 mL alginato de sodio pipeta de 200-1000 uL 3,2% p/p CaCl2	Óptimo 40,2%	-	-	Sousa et al., 2021
Zaumaque (<i>Rhus coraria L.</i>)	Polifenoles (Perfil de polifenoles)	Maltodextrina Ciclodextrina Goma arábiga	Spray drying	Extracto fenólico: material de recubrimiento 1:1 1:2	85,6% (M2T2) 81,3 % (C2T2) 65,3% (G2T2)	-	-	Grassia et al., 2021
Nr	β -caroteno Polifenoles del té <i>Lactobacillus paracasei</i>	Alginato de sodio	Encapsulación con macrogeles de almidón oxidado con alto contenido de amilosa	Macrogel de probióticos DO90-OHAS 20% (p/p) Radio de volumen 1:1 Macrogel de polifenoles de té 140 mg/L polifenoles de té 2% (p/p) Alginato de sodio 20% (p/p) DO90-OHAS Radio de volumen 1:1	62,4 % (β -caroteno) 77,9% (Polifenoles del té) 88,8% (<i>Lactobacillus paracasei</i>)	SGF (Fluido gástrico simulado) Pepsina NaCl pH 2 SIF (Fluido intestinal simulado) KH2PO4 tripsina Sal biliar pH 7,5 * <i>Lactobacillus paracasei</i> , β -caroteno, Polifenoles del té	Alta tolerancia en la simulación gástrica intestinal <i>in vitro</i> para probióticos (<i>Lactobacillus paracasei</i>), exhibiendo excelentes propiedades de liberación controlada. Cuando los macrogeles se combinaron con quitosano se produjo una buena protección y liberación tanto para β -caroteno y Polifenoles del té.	Zhang et al., 2021
Bagazo de Caña de azúcar	Polifenoles	Maltodextrina Goma arábiga	Freeze drying	Extracto de SCB 7,1°Brix Relación del núcleo de revestimiento 1:5 10% (p/p) Agente encapsulante Liofilización x 48 h	40% SCB-MD 83,11% SCB-GA	-	-	Velázquez et al., 2021
Pulpa de Arazá (<i>Eugenia stipitata</i>)	Polifenoles	Maltodextrina Goma arábiga	Spray drying	T° secado: 100 y 120 °C (Pulpa de materia seca: Material de pared) 1:0,5 1:1 1:1,5 Caudal de alimentación: 0,1 L/h	Nr	Boca: pH 2 Estómago: Pepsina Intestino: pH 6 Solución biliar Pancreatina * Polifenoles totales	Micropartículas DP-MD (1:9) 100°C, tuvo la mayor concentración de polifenoles totales y de capacidad antioxidante luego de la digestión <i>in vitro</i> .	Iturri et al., 2021
Semillas de Jambul (<i>Syzygium cumini</i>)	Polifenoles	Alginato de calcio	Freeze drying	SCSE (p/p) 0,1-0,3-0,5 % Alginato de sodio (p/p) 1,5 - 2,0 % CaCl2 (p/p) 2,0 -2,5 %	76,64 % 70,79 %	SFG (Fluido gástrico simulado) Pepsina pH 2 SIF (Fluido intestinal simulado) KH2PO4 Pancreatina Sal biliar pH 7,5 * Polifenoles totales	La encapsulación del extracto de semillas por los dos métodos preservan los polifenoles de la digestión simulada <i>in vitro</i> , además mantiene constante la actividad antioxidante. El método de encapsulación Freeze drying permite una mejor liberación controlada (cantidad y calidad) que el método vacuum dryer.	Abdin et al., 2020
Cactus (<i>Opuntia atropes</i>)	Polifenoles	Aislado de proteína de soja Caseinato de calcio Maltodextrina	Spray drying	(Material de pared: Extracto) 1:1 2,5/1 4:1 Temperatura 95-105-115°C % Spray 40- 70 - 100 %	Óptimo 55,69%	-	-	Rodríguez et al., 2020

<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	Polifenoles	Alginato de sodio - Carboximetilcelulosa de sodio	Freeze drying	Alginato de sodio 2% + Carboximetilcelulosa de sodio 1% 1:1 Radio de volumen 1mL/ 10 min	Rango 74.2 ± 0.011% - 82.43 ± 0.77%	-	-	Nwabor et al., 2020
Acerola (<i>Malpighia emarginata</i>)	Polifenoles	Goma arábica Maltodextrina	Spray drying	Goma arábica 0,25 - 0,50 - 0,75 g Maltodextrina 0,25 - 0,5 g Subproducto de acerola 1,75 - 2,0 Temperatura de entrada de aire 165 ± 10 °C Temperatura de salida 70 ± 10 °C	66,45-99,56%	-	-	Pinheiro et al., 2020
Jugo de remolacha	L. fermentum, L. plantarum y L. brevis Polifenoles	Goma arábica Maltodextrina	Spray drying	L. fermentum:L. plantarum: L.brevis 1:1:1 Maltodextrina y Goma arábica al 10% (p/p) Temperatura de entrada de aire 160°C Temperatura de salida de aire 70 ± 2 °C.	Nr	-	-	Janiszewska et al., 2020
Extracto de flor de Jamaica (<i>Hibiscus sabdariffa</i>)	Antocianinas	Aislado de proteína de suero (WP) Polidextrosa (PD)	Spray drying Freeze drying	PD 10% (p/p) - WPI 10% - PD: WPI 1:1 (p/p) Spray dryer Temperatura de entrada de aire: 160°C Temperatura de salida de aire: 880°C Caudal: 0,6 - 40,5 L/h Freeze dryer T° de congelación: -68°C T° de liofilización: -57°C Presión de vacío: 20 umHg 54h	38% - 77%	-	-	Cassol et al., 2020
Residuos de limón (piel, semillas y pulpa)	Polifenoles	Goma arábica (AG) Goma persa (PG) Goma de semilla de abahaca (BSG)	Freeze drying	Combinación de hidrocoloides (AG/PG/BSG) 1:0:0; 1:1:0; 0:1:0; 0:0:1; 1:1:1 al 10% (p/p) Extracto: compuesto pared 1:3 500 rpm x 12h x 23°C Temperatura de liofilización: -40°C x 24 h	53,3-74,1%	SGF (Fluido gástrico simulado) Pepsina pH 2 SIF (Fluido intestinal simulado) Intestino: Tampón PBS 0,1 M pH 8	El 90% de los polifenoles se liberaron de las microcápsulas en el estómago durante 60 min. Esto se puede deber a que el material de pared se disolvió al entrar en contacto con el fluido gástrico simulado. Por otro lado las microcápsulas con AG/PG mostraron una baja liberación en el fluido gástrico intestinal simulado.	Shaygannia et al., 2021
Cerveza Pale Ale	Polifenoles	Maltodextrina	Spray drying	Cerveza: Maltodextrina 3:0- 1:2- 1,5:1,5 Temperatura de entrada de aire 140°C-160°C-180°C Caudal: 17 mL/min	Nr	-	-	Maia et al., 2020
Hojas de olivo	Polifenoles	Alginato Alginato - Pectina Alginato - Proteína de suero Alginato - Caseinato de sodio	Gelificación iónica	Alginato 2% (p/v) Alginato - Pectina 2% (p/v) Alginato - Proteína de suero 2%(p/v) Alginato - Caseinato de sodio 2% (p/v) Extracto de olivo 0,5% (p/v)	21% Alginato 52-78% Alginato con polímeros	-	-	Flaminii et al., 2020
Aceite esencial de Tomillo	Timol	Alginato (AL) Alginato- Proteína de soja (AL/PS) Alginato- Proteína de soja - Lecitina (AL/PS/L)	Extrusión	pH 8 x T° 80°C x 40 min Alginato: Proteína de Soja 1:5 Polímero: Lecitina de soja 5:1 Cloruro de calcio 2%	65,2% AL 70,4%-73,3% AL/PS 82,2-85,9% AL/PS/L	Estómago: Solución gástrica Intestino: Solución pancreática. * Timol	La lecitina contribuyó a una menor liberación de timol en la solución gástrica (30%) en comparación con las formulaciones sin lecitina. La contribución del alginato y la proteína de soja en la liberación puede explicarse por los cambios en las cargas eléctricas de los dos biopolímeros.	Volic et al., 2021
Fruto de nopal rojo (<i>Opuntia ficus-indica</i>)	Polifenoles y betalaínas	Almidón Maltodextrina	Spray drying Freeze drying	Spray drying Almíson: Maltodextrina 100:0; 70:30; 50:50 Temperatura de entrada de aire: 130°C Temperatura de salida de aire: 80°C Tasa de alimentación: 6mL/min Freeze drying T° congelación: -40°C T° de sublimación: -25 a -5°C, rango 0,65°C/min 24h	Nr	-	-	Morales et al., 2020

Aceite de linaza	Aceite de linaza	Goma de linaza (FG) Aislado de proteína de linaza (FPI) Aducto de Aislado de proteína de linaza con polifenoles de linaza (FPI-FPP) Aducto de Aislado de proteína de linaza con hidroxitirosol (FPI-HT)	Coacervación compleja Spray drying	Coacervación compleja Proteína/Goma 0,5, 1 a 10 Incremento de 1,12,15,20 y 25 (p/p) Spray drying Presión 0,35 Pa Temperatura de entrada de aire: 200°C Temperatura de salida 112 ± 2°C Tasa de alimentación: 8mL/min	87,8 ± 1,7 % (FPI/FG) 85,5 ± 1,4 % (FPI-FPP/FG) 95,4 ± 1,5 % (FPI-HT/FG)	-	-	Pham et al., 2020
Hojas de té	Polifenoles de té (TP) ε-poli-L-lisina (ε-PL)	Ácido poliláctico (PLA) Etilcelulosa (EC)	Spray drying	TP/ε-PL 5:1 Ácido poliláctico: 3,30 g Etilcelulosa: 6,70 g Temperatura de entrada de aire: 45°C Tasa de alimentación 180 mL/h	Nr	-	-	Yang et al., 2020
Hueso de dátil (<i>Phoenix dactylifera</i> L.)	Polifenoles	Goma arábica (GA) Proteína de yema de huevo (EYP)	Freeze drying	20% (p/p) Material de recubrimiento Extracto al 15% (p/p) del Material de recubrimiento GA:EYP 1:0; 0:1; 1:1; 1:3; 3:1. Freeze drying T° de congelación:-80°C x 12 h Liofilización x 48 h	44.06 ± 4.28% - 99.75 ± 0.01%.	SGF (Fluido gástrico simulado) Pepsina pH 1,2 SIF Pancreatina (Fluido intestinal simulado) pH 6,8 *Polifenoles aparentes	El estudio mostró que una mayor concentración de Proteína de yema de huevo (EYP) como agente encapsulante que de Goma arábica (GA) produce una mejora en la resistencia de las microcápsulas a los líquidos gástricos e intestinales.	Sassi et al., 2020
Membrillo japonés (<i>Chaenomeles japonica</i>)	Polifenoles	Maltodextrina Inulina	Freeze drying Vacuum drying Spray drying	Freeze drying Temperatura cámara de secado -30°C Spray drying Temperatura de entrada de aire 180°C Tasa de alimentación 40 mL/min Vacuum drying Temperatura 50,70 y 90°C Presión 1kPa x 24, 48 y 72 h	Nr	-	-	Turkiewicz et al., 2020
Yerba mate (<i>Ilex paraguayensis</i>)	Polifenoles	Maltodextrina	Spray drying Freeze drying	Maltodextrina: Extracto de yerba mate 2:1 Freeze drying Temperatura de congelación: -60°C Presión 0,05 bar x 48 h Spray drying Tasa de alimentación 2mL/min Temperatura de entrada de aire: 120 °C	Nr	-	-	Fenoglio et al., 2020
Film de Saúco (<i>Sambucus Nigra</i> L.)	Polifenoles	Quitosano modificado Alginato de sodio Goma arábica	Gelificación inducida por calor	Biopolímeros al 1% (p/p) Extracto de sauco 10% (p/p) Rutina 0,2% (p/p)	74.0 and 99.9%,	-	-	Ribeiro et al., 2020
Hojas de anís estrellado (<i>Illicium verum</i> Hook. F.)	Polifenoles	Ciclodextrina Ciclodextrina modificada	Inclusión Molecular	Núcleo/Material de pared 1:3; 1:5; 1:8; 1:10; 1:12 Etanol 60%	Nr	-	-	Wang et al., 2020
Laurel (<i>Laurus nobilis</i> L.)	Ácido gálico Extracto de laurel	Quitosano Alginato de sodio Goma arábica	Spray drying	10 mL de extracto de laurel 100 mL de agente encapsulante 1% (p/p) Presión 5 bar Temperatura de entrada de aire: 115°C Temperatura de salida: 65°C	72,9 - 99,3%	-	-	Chaumon et al., 2020
Cáscara de rambután	Polifenoles	Maltodextrina	Spray drying	Óptimo agente encapsulante 10% (p/p) Núcleo: Agente encapsulante 1:4 Temperatura de entrada de aire: 160°C Temperatura de salida: 80°C	Nr	-	-	Boyano L et al., 2020
Residuo de Té negro	Polifenoles	Pectina (PE) Caseinato de sodio (SCN) Pectina - Caseinato de sodio (PE + SCN)	Spray drying	100% Pectina 100% Caseinato de sodio 50%: 50% Pectina:Caseinato Temperatura de entrada: 140°C Temperatura de salida: 85°C ± 3°C Tasa de alimentación: 5 mL/min	75.77 ± 1.023% (PE) 60.07c ± 0.002%(SCN) 81.56 ± 1.998% (PE +SCN)	-	-	Rajapaksha y Shimizu, 2020
Semillas de uva	Proantocianidinas	Hidrogel de Almidón Oxidado	Interacción electroestática	Nr	-	Digestión salival: Fluido salival simulado con mucina y α-amilasa, pH 6,8. Digestión gástrica: Fluido gástrico simulado, mucina y pepsina, pH 2,8. Digestión intestinal: pH 7,0, jugo de bilis, jugo duodenal con pancreatina y lipasa. * Proantocianidinas	El complejo PA-OSH resultante fue estable bajo condiciones de digestión <i>in vitro</i> con un 1,6% de Proantocianidinas liberadas durante la digestión salival y con la propiedad de liberarse controladamente en el intestino. La relación de Proantocianidinas con amilasa salival se redujo sustancialmente por microencapsulación usando hidrogel de almidón oxidado.	Zhao et al., 2020

Mucor circinelloides	Extractos microbianos	Goma guar parcialmente hidrolizada (PHGG) Hidrogeles de proteína de suero (WPHG)	Freeze drying	Extracto microbiano 1,5% (p/p) Material de pared 10% (p/p) (5% WPHG + 5% pectina; 10% WPHG; 5% PHGG + 5% pectina; 10%PHGG) Temperatura de congelación: -80°C x 24 h	Nr	Fase gástrica SGDig, pH 2 Fase intestinal: Pancreatina, FSIIDig pH 6,8 * Polifenoles totales	La microencapsulación del extracto con 5% de hidrogel de proteína de suero y 5% de pectina mostró una mayor capacidad de retención de polifenoles acompañada de una baja degradación en la digestión gástrica e intestinal.	Hameed et al., 2020
Frijoles negros	<i>Lactobacillus casei</i>	Inulina Quitosano Aislado de proteína de suero (WPI)	Freeze drying	10 g Aislado de proteína de suero 5 g de inulina 5 g de quitosano T° de congelación: -42°C x 48 h bajo presión 10 Pa.	Antocianidinas 99.33 ± 0.13% Bacterias lácticas 77.42 ± 1.34%	Estómago: Pepsina porcina pH 2 Intestino: Pancreatina pH 7,0 * Lactobacillus casei	La tasa de supervivencia de bacterias lácticas in vitro fue superior al 98% tanto para el medio gástrico como para el medio intestinal.	Vasile et al., 2020
Mora (<i>Morera</i>)	Polifenoles (Flavonoides y Antocianinas)	β-ciclodextrina	Freeze drying	Núcleo:Material de pared 1:6	> 97%	-	-	Li et al., 2020
Maqui (<i>Aristotelia chilensis</i>)	Polifenoles (Antocianinas)	Maltodextrina Goma arábiga Inulina	Freeze drying	Polisacáridos Maltodextrina 10%; Inulina 20%;Goma arábiga 30% Temperatura de congelación: -20°C x 24 h	Óptimo 24.3 ± 0.77 - 65.7 ± 1.53% (10%)	-	-	Romero et al., 2020
Extracto de hoja de oliva	Secoirridoides Oleuropeína	Inulina Maltodextrina	Spray drying	OLE: Inulina 1:2 OLE: Maltodextrina 1:1,3 Temperatura de entrada de aire: 166°C Tasa de alimentación: 3mL/min	Óptimo 92.2% (MD) 81.6% (IN)	Digestión gástrica, intestino y colon. *Polifenoles individuales	En microcápsulas de OE-MD (Aceite de oliva-Maltodextrina) y debido a la alta solubilidad de la Maltodextrina en el agua, el Aceite de oliva se liberó rápidamente y se expuso bajo condiciones gástricas adversas, lo que llevó a su degradación parcial. Por lo tanto el patrón de evolución de las microcápsulas OLE-MD fue similar al Aceite de oliva no encapsulado. Por el contrario se encontró un aumento del contenido de OE en microcápsulas de OE-IN (Aceite de oliva-Inulina). En cuanto a la digestión intestinal el contenido de OE disminuyó más drásticamente en microcápsulas de OLE-IN que en OLE-MD.	González et al., 2020
Caáscaras de granada	Polifenoles	Pocho de residuo de naranja	Spray drying	Material de recubrimiento: Extracto 9:1 Temperatura de entrada de aire: 162°C Tasa de alimentación: 15,5 m3/h	Nr	-	-	Kaderides K et al., 2020
Té verde	<i>Lactobacillus rhamnosus</i>	Aislado de proteína de suero (WPI) Almidón Modificado Huauzontle (MHS)	Spray drying	WPI:MHS 1:1,6 Temperatura de entrada de aire: 140°C Flujo de velocidad: 7,5 mL/min	Nr	-	-	Hernández et al., 2020
Cáscara de granada	Ácido elágico	Spirulina	Método físico	Tiempo de encapsulación 30 - 105 - 180 Extracto:Microalga 1 - 2 - 3	Nr	SFG (Fluido gástrico simulado) Pepsina pH 1,2 SIF (Fluido intestinal simulado) KH2PO4 Pancreatina pH 6,8 * Ácido elágico	El contenido fenólico total disminuyó después de la digestión gastrointestinal, sin embargo, hubo un aumento en los valores de la capacidad antioxidante después de esta. En cuanto a el Ácido elágico, la liberación fue mayor en el Fluido intestinal simulado que en el fluido gástrico simulado. Los estudios indicaron que el ácido elágico fue protegido favorablemente en la digestión intestinal.	Yagmur y Sahim, 2020
Col morada (RCA) Achicoria roja (RCH)	Polifenoles	Almidón modificado	Spray drying	Temperatura de entrada de aire: 140 ± 3 Temperatura de salida de aire: 70 ± 3 Caudal de alimentación: 5mL/min	79% (RCA) 88% (RCH)	-	-	Zanoni et al., 2020
Árbol del curry (<i>Murraya koenigii</i>)	Polifenoles (Favonoides)	Quitosano Cloruro de calcio	Electrospinning	40 Hz 1200 V Tamaño de boquilla: 1000 µm Sistema de liberación: S1 (5% Alginato, 10% Cloruro de calcio, 1,25% quitosano, 2,5% de ácido ascórbico.) S2 (5% alginato, 10% cloruro de calcio, 0,5% quitosano, 2,0% de ascórbico ácido.) S3 (5% alginato, 5% cloruro de calcio, 0,5%quitosano, 2,0% ácido ascórbico.)	Óptimo 88,92%	SFG (Fluido gástrico simulado) Pepsina pH 1,2 SIF (Fluido intestinal simulado) KH2PO4 Pancreatina pH 7,0 * Polifenoles totales	Los estudios gastrointestinales <i>in vitro</i> mostraron una buena estabilidad y liberación controlada de los principales polifenoles del extracto de corteza de <i>Murraya koenigii</i> .	Dadwal et al., 2020
Kenaf (<i>Hibiscus cannabinus</i>)	Polifenoles	Goma arábiga β-ciclodextrina Caseinato de sodio	Spray drying	Goma arábiga: Caseinato de sodio: β-ciclodextrina 4:1:1 Temperatura de entrada de aire: 160°C Caudal de la emulsión: 8 ± 2 g/min	Nr	SFG (Fluido gástrico simulado) Pepsina pH 1,5 SIF (Fluido intestinal simulado) KH2PO4 Pancreatina pH 6,8	El porcentaje de liberación del aceite de ...incorporado a la bebida de café fue alto (94,65%) después de la digestión <i>in vitro</i> . El aceite liberado digerido mostró un incremento en el contenido fenólico. La matriz de café previno la degradación del fitoesterol durante la digestión <i>in vitro</i> .	Chew et al., 2020

Hibisco (<i>Hibiscus sabdariffa</i>)	Polifenoles (Ácido gálico)	Maltodextrina Goma arábica	Spray drying	Óptimo 2,5% Hibiscus w/w Extracto: Material de pared 1:1 Maltodextrina:Goma arábica 80:20 Homogenización: 10000 rpm Temperatura de entrada de aire: 150°C	Óptimo 86.70 ± 2.23	-	-	Navidad et al., 2020
Semilla de uva	Polifenoles	Maltodextrina Goma arábica Concentrado de proteína de suero	Freeze drying	Óptimo WPC: MD/GA 4:1 y 3:2 Núcleo: Material pared 1:5 Sonicación x 30 min	Óptimo 87,90–91,13%	Boca: Fluido salival Estómago: Jugo gástrico Intestino: Jugo duodenal y jugos biliares.	Los resultados indicaron que una mezcla de maltodextrina con goma arábica y concentrado de proteína de suero mejoró la microencapsulación de las semillas de uva al presentar bajos niveles de liberación de compuestos fenólicos en condiciones gástricas simuladas (43-49%). En condiciones de simulación intestinal la liberación aumentó significativamente (88-922%).	Yadav et al., 2020
Orojo de granada	Polifenoles (Ácido Elálgico y ácido gálico)	Pectina de bajo metoxilo	Spray drying	Extracto de granada: Pectina 1:4 Temperatura de entrada de aire: 160°C tasa de alimentación: 11 mL/min	≈ 50%	-	-	Turrini et al., 2020
Cúrcuma (<i>Curcuma longa L.</i>)	Polifenoles (Flavonoides Taninos)	Maltodextrina Harina de yuca modificada Leche desnatada	Freeze drying	Extracto 10% (p/p) Temperatura de congelación: -40°C x 40 h	Óptimo 80.12 ± 0.41%	PBS pH 7.4 SFG (Fluido gástrico simulado) pH 1,2 SIF (Fluido intestinal simulado) pH 6,8	La menor liberación de curcumina en la solución salina tamponada se dio con T1 (Extracto de cúrcuma con maltodextrina) con un 48,44% y la más alta fue de To (Extracto de cúrcuma no encapsulado). Lo mismo sucedió en la digestión gastrointestinal donde el perfil de liberación de curcumina de T1 mostró el valor más bajo (60,76%). La liberación fue más rápida en la digestión intestinal sin embargo los resultados indicaron que el perfil de liberación de las microcápsulas de cúrcuma en el líquido intestinal simulado fue menor que el SGF debido a la menor solubilidad de la curcumina en soluciones de pH base	Febrianta et al., 2020
Jugo de naranja	Polifenoles	Maltodextrina Alginato de sodio	Spray drying	Óptimo Maltodextrina 7% (p/p) Alginato de sodio 0,1% (p/v) Temperatura de entrada de aire: 160°C Flujo de alimentación: 14 mL/min	Nr	-	-	Rodríguez J., et al 2020
Orojo de uva	Polifenoles (Perfil de polifenoles)	Maltodextrina Goma arábica	Spray drying Freeze drying	Maltodextrina:Goma arábica 10:0; 8:2; 6:4 Núcleo: Material de pared 1:1 Spray drying Tasa de alimentación: 12 mL/min Temperatura de alimentación; 25°C Freeze drying Temperatura de congelación: -85°C x 24h	Nr	-	-	Tolun et al., 2020
Cáscara de tuna púrpura (<i>Opuntia ficus indica</i>)	Polifenoles	Maltodextrina Goma arábica	Spray drying	Temperatura de entrada de aire 160°C, 170°C y 180°C Temperatura de salida de aire 70°C, 80°C Agente encapsulante (%) 10, 15 y 20%	Nr	-	-	Toledo et al., 2019
Green tea (<i>Camellia sinensis</i>)	Polifenoles	Carragenano (C) Goma de algarrobo (L) Concentrado de proteína de suero (W) Thixogum (T) Extracto de té verde (GTE)	Emulsión doble (W1/OW2)	Fase W1 (Concentrado de proteína/ Azida de sodio/ NaCl/ GTE) Fase O PGPR/aceite de canola Fase W2 1:1 (CM,CMC,CMI,CMT, CMW)	Nr	Emulsión doble:Agua destilada 1:1 Estómago: pH 2 Solución de pepsina de porcino. Intestino: pH 7 Solución de pancreatina-bilis *Polifenoles totales	Todas las emulsiones mostraron un efecto protector modulando la liberación de extracto de té verde en un ambiente gastrointestinal simulado, permitiendo una liberación controlada durante las fases de digestión gástrica e intestinal y alcanzando su máxima liberación en la fase intestinal (64,57-83,31%).	Guzman et al., 2019
Hueso de aceituna	Polifenoles (Flavonoides)	Quitosano	Spray drying	1% Quitosano Quitosano: Extracto 1:1,25 Temperatura de entrada de aire óptima: 200°C Temperatura de salida de aire óptima: 94± 2°C Tasa de alimentación: 9,5 mL/min	Óptimo 76,89%	-	-	Nakilcioglu-Tas y Otles, 2019
Anacardo (<i>Anacardium occidentale L.</i>)	Polifenoles	Maltodextrina Octenilsuccinato de almidón	Spray drying	Maltodextrina 100% Octenilsuccinato de almidón 100% Maltodextrina:Octenilsuccinato de almidón 40:60	Nr	-	-	Maia et al., 2019

Subproductos del brócoli	Polifenoles (Flavonoides)	Maltodextrina Capsul	Spray drying	Material de recubrimiento 10% - 20% - 30% (w/v) Núcleo: Material de recubrimiento 1:2; 1:5; 1:10; 1:20 Temperatura de entrada de aire 20,100,130,150,170°C	Nr	-	-	Marinelli et al., 2019
Extracto de nopal	Flavonoides	Goma arábica Maltodextrina	Emulsión doble (W1/O/W2)	Emulsión W1/O 30 mL de extracto de nopal y 56 mL de aceite de canola + emulsificante. Emulsión W1/O/W2 30 mL de la emulsión W1/O en 20 g de polímero y 54 mL de agua destilada. Goma arábica:Maltodextrina 40:60; 50:50; 60:40	Nr	Fase gástrica: pH 2 Líquido gástrico (16% pepsina) Fase intestinal: pH 7 pancreatina-bilis NaHCO3 *Polifenoles totales	El yogur Y30 tuvo la mejor protección de polifenoles totales en la simulación <i>in vitro</i> (94,6%). El total de polifenoles mostró una pérdida tanto en la digestión gástrica como en la digestión intestinal.	Cenobino et al., 2019
Jugo de mora	Polifenoles	Maltodextrina (MD) Goma arábica (GA) Proteínas de suero de leche (WPI)	Spray drying	Jugo de mora: Material de pared 1:0,25 Temperatura de entrada de aire: 110°C Temperatura de salida de aire: 85 ± 1 °C Tasa de alimentación: 11,5 mL/min	Nr	-	-	Khalifa., et al 2019
Pétalo de azafrán	Polifenoles	Maltodextrina Pectina	Spray drying Freeze drying	Maltodextrina 10 - 10,5 -11 -12% Pectina 1 - 1,5 - 2 % Spray drying Temperatura de entrada de aire: 160°C Temperatura de salida de aire: 83°C Tasa de alimentación: 6mL/min Freeze drying Temperatura de congelación: -20°C x 24 h	Spray drying 71.25 ± 0.403% Freeze drying 74.29 ± 0.279%	Boca: jugo de saliva Estómago: jugo gástrico Intestino: jugo duodenal y bilis. *Polifenoles totales	Los resultados mostraron que la liberación de compuestos fenólicos con maltodextrina como material encapsulante aumentó en condiciones de saliva simuladas. Siendo este valor mayor en liofilización que en secado por atomización. En cuanto a la simulación gástrica, esta presentó un aumento en la liberación de compuestos fenólicos para los dos métodos de encapsulación, siendo un 52% (S) y un 49% (F) más alto que en la condición de saliva simulada. En la condición simulada de intestino, las muestras que contienen mayores cantidades de pectina mostraron una mayor liberación de polifenoles y se mostró una mayor liberación en muestras secadas por aspersión en comparación con las muestras liofilizadas.	Ahmadian et al., 2019
Hibisco (<i>Hibiscus sabdariffa L.</i>)	Polifenoles (Antocianinas)	Aceite de colza Pectina HE	Emulsión doble A1/O/A2 Extrusión por goteo Spray drying	Emulsión A1/O Aceite de colza y Surfactante PGPR 65:35 Emulsión A1/O/A2 La emulsión A1/O se mezcla con el extracto de hibiscus Extrusión por goteo CaCl2 3% Presión de aire: 200 mbar Frecuencia de vibración 100 Hz Tensión del electrodo de 400 V Spray drying CaCl2 3% Presión de aire: 0,15 Bar Tasa de alimentación: 1,30 mL/min	Nr	-	-	Moura et al., 2019
<i>Moringa oleifera</i>	Polifenoles	Aislado de proteína de soja (SPI) Aislado de proteína de guisante (PPI)	Spray drying	Temperatura de entrada de aire: 140, 160, 180°C Núcleo: Material de pared 1:4; 1:9% (p/p)	53.82 ± 0.26% - 79.30 ± 0.24% (PPI) 52.34 ± 0.38% - 75.19 ± 0.04% (SPI)	-	-	Airouyuwa y Kaewnaee, 2019
Baya de sauco (<i>Sambucus nigra</i>)	Antocianinas	β-glucano Maltodextrina Goma arábica	Spray drying	Temperatura de entrada de aire: 140°C β-glucano 0,5-1-2 y 3 %	80.45 ± 1.39% (MD+GA) 77.97 ± 2.35% - 93.91 ± 2.72% (BG)	-	-	Sobieralska y Andrezej, 2019
Semilla de guaraná (<i>Paullinia cupana</i>)	Catequina Epicatequina Dímeros y trímeros de procianidinas	Grasa vegetal	Spray chilling	Spray chilling Temperatura de refrigeración:13°C Spray drying Temperatura de entrada de aire: 150°C Tasa de alimentación: 10 mL/min	Nr	Boca, Gástrico Intestino *Polifenoles totales	Al menos el 75% de compuestos fenólicos se retuvo después de 90 días en SLM. Además, el SLM cargado con 7,5% de GSE liberó aproximadamente el 99% de compuestos fenólicos en la simulación gastrointestinal.	Silva et al., 2019

Baya de sauco (<i>Sambucus nigra</i> L.)	Polifenoles	Goma arábica Alginato de sodio Quitosano modificado	Spray drying	Temperatura de entrada de aire: 115°C Temperatura de salida de aire: 58°C Presión de aire: 5-6 bar	92,3-99,8%	-	-	Ribeiro et al., 2019
Sorgo rojo	Polifenoles	Extruidos fosforilados, Acetilados y Almidón de sorgo esterificado	Spray drying	Temperatura de entrada de aire: 150±1 °C Temperatura de salida de aire: 80±5°C Tasa de alimentación: 10 mL/min	91,4 % (M-PS) 89,7% (M-AS) 84,6%.(M-DES)	-	-	García et al., 2019
Maíz azul	Antocianinas	Fructanos de agave	Spray drying	Fructano de agave 6,8,10,12% (p/v)	Nr	-	-	Sanchez et al., 2019
Hibisco (<i>Hibiscus sabdariffa</i> L.)	Polifenoles (Antocianinas)	Aceite de colza Pectina HE	Emulsión doble A1/O/A2 Extrusión por goteo Spray drying	Pectina 1,5% Agua caliente 24,3% Gelatinas 0,54 g / 100 g de antocianina extracto. 7,14 g / 100 g de micropartículas de antocianina obtenido por atomización 7,14 g / 100 g de micropartículas de antocianina obtenidas por goteo-extrusión	Nr	Fluido gástrico simulado: pH 1,2 Pepsina Fluido intestinal simulado: pH 7,4 Pancreatina. *Polifenoles totales y Antocianinas	El estudio de liberación durante la fase gástrico demostró que las muestras encapsuladas tuvieron menor liberación de antocianinas y compuestos fenólicos totales que el extracto libre. Por lo tanto la felficación por goteo-extrusión fue eficaz para proteger las antocianinas en condiciones gastrointestinales simuladas.	Moura et al., 2019
Extracto de propóleo con etanol	Polifenoles (Flavonoides)	Alginato de sodio	Gelificación iónica	Alginato de sodio 1% (p/v) Etanol 30% (v/v) Extracto de propóleo 2 mL Solución de NaCl (0,05 M) Las perlas se secaron a 60°C x 5 h	≈ 99,3%	Fluido gástrico simulado: pH 1,50 HCl/KCl bufer Fluido intestinal simulado: pH 6,8 Buffer de fosfato pH 7,4 1% Tween 80 *Polifenoles totales	El estudio reportó que después de 2 h en la digestión simulada <i>in vitro</i> todas las perlas de alginato-propóleo se descompusieron a pH 7,4. Por lo tanto, la liberación de el propóleo en las perlas depende del pH de la solución. Siendo mayor la liberación de propóleo en el fluido intestinal que en el fluido gástrico.	Keskn et al., 2019
Piel de cereza dulce	Antocianinas	Aislado de proteína de suero Quitosano	Freeze drying	WPI 2 g Quitosano 1 g pH 7 Temperatura ambiente	77,68 ± 2,57%	-	-	Milea et al., 2019
Piel de cebolla amarilla	Flavonoides	Hidroxilados de proteína de suero Pectina Maltodextrina	Freeze drying	Óptimo Maltodextrina: Pectina: Hidroxilados de proteína de suero 2:1:0,4 Temperatura de congelación: -70°C Freeze drying: -42°C x 48 h	Óptimo 66,46 ± 0,18%	Estómago (SGS) Intestino (SIF) *Flavonoides totales	Los materiales de recubrimiento presentaron un efecto protector sobre la liberación de flavonoides en el fluido gastrointestinal simulado. La variante 3 mostró un efecto protector máximo con una disminución de máximo 2%. Por lo tanto las micropartículas recubiertas con una proporción 2:1:0,4 de material de recubrimiento son resistentes al estómago. En el fluido intestinal simulados, los resultados mostraron que la cantidad total de flavonoides se liberó durante 120 min para todas las variantes con un máximo registrado en las variantes 2,3 y 1.	Milea et al., 2019
Extracto de propoleo	Polifenoles (Perfil de polifenoles)	Proteína de guisante concentrado	Spray drying	Material de pared CPP 2 - 4 - 6% (p/v) Extracto de propóleo 2% (v/v) Temperatura de entrada de aire: 120°C Temperatura de salida de aire: 72 ± 3 °C Tasa de alimentación 0,4 m3/min	Óptimo 26,92 ± 0,1% - 100,00 ± 0,2%	-	-	Jansen et al., 2019
Piel de uva	Polifenoles (Perfil de polifenoles)	Hidrogel de alginato	Gelificación iónica	Alginato de sodio 1,5% NaCl 0,1 M Las perlas se filtraron	68%	Estómago: pH 1,4 Intestino: pH 7,4 *Polifenoles totales, Catequina, Epicatequina, Procianidina	A pH 1,4 sólo se liberaron el 13% de los polifenoles totales, la mayor liberación 74% corresponde a catequina. El estudio mostró que los compuestos fenólicos se liberaron casi por completo de las microperlas de alginato a pH 7,4.	Lavelli y Sri Harsha., 2019
Nr	Ácido gálico, catequina, ácido clorogénico y ácido tánico	Hidrogel de ι-carragenina Gelatina	Electrospraying	10 mL Solución de ι-carragenina 0,838 mm diámetro interno 13 kV 50 mM CaCl2	Nr	-	-	Gómez et al., 2019
Extracto de hoja de olivo	Secoirridoides Oleuropeína	Alginato de sodio	Spray drying	Óptimo Extracto de hoja de olivo: Alginato de sodio 1:1,6 Temperatura de entrada de aire: 135°C	Óptimo 60,8 %	Gástrico, intestino y colon *Polifenoles individuales	La oleuropeína se degradó durante la digestión gástrica dando origen a hidroxitiroso y ORP-aglicona, mientras que sólo el ORP superficial se liberó de las microcápsulas. El resto de oleuropeína de el extracto de hojas de olivo se degradó en condiciones intestinales dando lugar a oleósidos. El alginato se desintegró liberando el 90% de oleuropeína.	González et al., 2019

Palma juçara (<i>Euterpe edulis Martius</i>)	Polifenoles (Antocianinas)	Maltodextrina Goma arábica Inulina	Spray drying	Agentes encapsulantes 30% (w/v) Extracto: Agente 1:3 Tasa de alimentación: 2 mL/min Temperatura de salida de aire óptimo Maltodextrina 50°C, Goma arábica 70°C, Inulina 70°C	Nr	-	-	Lima et al., 2019
Aguas residuales fermentadas de hojas e té Miang	Polifenoles (Antocianinas)	Maltodextrina/Goma arábica	Freeze drying	Maltodextrina:Goma arábica 50:50 (p/p) Concentrado fermentado:Material de recubrimiento 10:1; 30:1; 50:1 Temperatura de congelación: -18°C x 24 h 0,133 mbar X 72 h	Óptimo 99,4%	-	-	Muangrat et al., 2019
Extracto de zanahoria negra	Antocianinas	Quitosano	Liposomas	Liposomas Solución BCE 0,1; 0,2; 0,4% (p/p) Lecitina 2% Recubrimiento de liposomas Quitosano 2% (p/p) Solución de liposomas: Quitosano 9:1 (v/v) Spray drying 0,1% Quitosano 20%Maltodextrina Temperatura de entrada de aire: 160°C Temperatura de salida de aire: 90°C	Liposomas 86.6 ± 16.1% (lecitina 0,1%) 82.2 ± 9.7% (lecitina 0,2%) 46.9 ± 6.3% (lecitina 0,4%)	-	-	Guldiken et al., 2019
Orojo de cereza ácida	Antocianinas	Proteína de soya (SE) Proteína de suero de leche (WE)	Freeze drying	Extracto de orojo de cereza ácida 100 mL Material de recubrimiento 50 mL (Núcleo:Recubrimiento) 2:1 Temperatura de congelación: -40°C x 24 h	90,10% (WE) 94,90% (SE)	-	-	Petrovic et al., 2019
Maíz azul (<i>Zea mays L.</i>)	Polifenoles (Antocianinas)	Maltodextrina (MD) Maltodextrina-Pectina (MP)	Spray drying	MD 120 g/L sólidos totales MP 120 g/L sólidos totales Temperatura de entrada de aire: 150°C Temperatura de salida de aire: 80 ± 2 °C Tasa de alimentación: 0.52 m ³ /min	Nr	Estómago: Solución de pepsina pH 1,5 Intestino: Solución de pancreatina pH 6,9 *Polifenoles totales * Antocianinas	Ambos recubrimientos mostraron una liberación casi completa bajo digestión simulada (~95%). La mayoría de los compuestos fenólicos provenientes de MP se liberaron durante la fase intestinal, mientras que los de la matriz MD se liberaron durante la fase gástrica.	Canizales et al., 2019
Pulpa de acai Fruto de <i>Euterpe edulis Martius</i>	Polifenoles (Antocianinas)	Maltodextrina Inulina Goma arábica	Spray drying	Recubrimiento 30% (p/v) Extracto:Recubrimiento 1:3 (w/v) Temperatura de entrada de aire: 136°-140°C Temperatura de salida de aire: 50°C	87,66% (IN) 87,19% (GA) 79,73% (MD)	Estómago: pH 2,0 Pepsina Intestino: pH 7,0 Pancreatina Sales biliares *Polifenoles totales y antocianinas	El porcentaje de recuperación de antocianinas tras la digestión gástrica <i>in vitro</i> fue de 24,90% para PO, 18,71% DM, 24,67% IN, 24,67% GA, no hubo diferencia significativa entre estos resultados. Sin embargo, para el contenido fenólico GA mostró un mayor porcentaje de recuperación (44,65%) en comparación con PO (20,32%).	Bernardes et al., 2019
Piel de uva (<i>Vitis labrusca var. Isabel</i>)	Polifenoles	Goma arábica β-ciclodextrina Hidroxipropil β-ciclodextrina	Inclusión molecular Spray drying	GA (5% goma arábica); GA/β-CD1 (4% goma arábica y 1% β-ciclodextrina) GA/β-CD2 (3% goma arábica y 2% β-ciclodextrina) GA/HP-β-CD1 (4% goma arábica y 1% hidroxipropil-β-ciclodextrina) GA/HP-β-CD2 (3% goma arábica y 2% hidroxipropil-β-ciclodextrina). Inclusión molecular 5000 rpm x 3 min y agitar 1 h. Spray drying Tasa de alimentación: 0,6L/h Temperatura de entrada de aire: 160°C	Nr	-	-	Kuck y Zapata, 2019
Cáscara de granada (<i>Punica granatum L.</i>)	Antocianinas	Maltodextrina Alginato de calcio	Freeze drying	Maltodextrina: 5,10,15% Alginato de calcio: 0,1% Extracto:Recubrimiento 1:5 Temperatura congelación: -55°C x 48 h a 0,15 mmHg	86.57 ± 0.48% (MD 5%) 92.04 ± 0.98% (MD 10%) 92.54 ± 1.78% (MD15%)	-	-	Azarapzhooh et al., 2019
Mora (<i>Morus alba</i>)	Polifenoles (Flavonoides Antocianinas)	Goma arábica	Freeze drying	Núcleo:Recubrimiento 1:50; 1:60; 1:70; 1:80; 1:90; 1:100; 1:110	88.34 ± 0.00% - 93.14 ± 0.00% Óptimo 95.54 ± 0.00 (1:90)	-	-	Xu et al., 2019

Nr	galato de epigallocatequina (EGCG) α -ácido linolénico (ALA)	Zeína Gelatina	Electrospraying	Agujas de 0,6 y 1,4 mm de diámetro interno Volaje: 0-30 kV 5 mL de solución de recubrimiento	≈ 65% (ALA-Z) ≈ 67%(ALA-GZ) ≈ 83% (ALA-ZZ) ≈ 79% (EGCG-Z) ≈ 80% (EGCG-ZZ) ≈ 77% (EGCG-GZ) ≈ 99% (EGCG-GG)	-	-	Gómez et al., 2019
Cáscara de cacao	Polifenoles (Perfil de polifenoles)	Maltodextrina Goma arábica	Spray drying	P1: 100% DE P2-P6: SA:DE, 80:20 (p/p) P7: SA:DE, 60:40 (p/p) Temperatura de entrada de aire: 150°C Temperatura de salida de aire: 80°C Tasa de alimentación: 7 mL/min	Nr	-	-	Papillo et al., 2018
Arroz negro italiano (<i>Oryza sativa L., var. Artemide</i>)	Polifenoles (Perfil de polifenoles) Antocianinas Taninos	Maltodextrina Goma arábica	Spray drying	MD/GA: 50/50 (p/p) Recubrimiento: Extracto 80:20 Temperatura de entrada de aire: 150°C Tasa de alimentación 7 mL/min	Nr	-	-	Papillo et al., 2018
Orujo de remolacha roja	Polifenoles	Aislado de proteína de soja	Freeze drying	6,87 g Extracto 45 g Aislado de proteína de soja	Nr	-	-	Hidalgo et al., 2018
Cáscara de jabuticaba (<i>Plinia cauliflora</i>)	Polifenoles	Quitosano	Spray drying	Quitosano:Extracto 115:1; 39:1; 6:1; 6:1 Tasa de alimentación: 6 mL/min Temperatura de entrada de aire: 140°C Temperatura de salida de aire: ~100°C	Óptimo 89,74±3,28 (MP04)	-	-	Cabral et al., 2018
Residuo de arándano (<i>Vaccinium sp</i>)	Polifenoles (Antocianinas)	Alginato de sodio	Gelificación ionotrópica	Alginato de sodio (2,16; 2,5; 3,0; 3,5 y 3,83%) Residuo de arándano (0,33; 1; 2; 3 y 3,66%) 0,3 M ZnCl ₂ Las perlas se liofilizaron x 48 h	Nr	Fluido gástrico simulado * Polifenoles totales	Las perlas liberaron el 68% de los compuestos fenólicos en la simulación gástrica.El estudio reportó que la microencapsulación tuvo un efecto positivo en el control de la liberación de la sustancia activa ya que la liberación fue más lenta en el residuo encapsulado que en su forma original.	Bittencourt et al., 2018
Orujo de uva	Polifenoles (Antocianinas)	Maltodextrina (MD) Aislado de proteína de suero (WPI) Aislado de proteína de guisante (PPI)	Spray drying	Recubrimiento: Extracto 0,3:1; 2:1 Temperatura de entrada de aire: 140°C Temperatura de salida de aire: 81°C Tasa de alimentación: 21,5g/min Control fue liofilizado a-25°C x 96 h	Nr	Fluido gástrico simulado pH 1,2 Fluido intestinal simulado pH 6,8 * Polifenoles totales y antocianinas	Las microcápsulas formadas con proteínas mostraron una tasa de liberación lenta. Las microcápsulas con WPI mostraron una tasa de liberación mucho más lenta en todos los casos. Las microcápsulas formuladas con MD presentaron perfiles de liberación de TAC y TPC muy similares en abas simulaciones lo que indica que la maltodextrina no tiene ningún efecto en la liberación.	Moreno et al., 2018
Hojas de romero (<i>Rosmarinus officinalis L.</i>)	Polifenoles	Maltodextrina	Doble emulsión y Spray drying	Emulsificantes Polirricinoleato de polifícerol 4% Aislado de proteína de suero 2,4% Emulsión RPE/O 50/50 Emulsión RPE/O/W 15% MD WPI 2,4% 40% RPE/O 60% WPI y MD Spray drying Temperatura de entrada de aire: 175±2°C Temperatura de salida de aire: 90°C Caudal de alimentación: 18%	39,57 y 42,83 % (4% WPI)	-	-	Busic et al., 2018
Nr	<i>Bifidobacterium pseudocatenulatum</i>	Agar puro Agar sin purificar	Gelificación interna	Agar purificado (0,5%) Agarosa (0,5%) Agar no purificado (3%) WPI (5%) Gelatina (1,5%) Almidón (1%)	Nr	-	-	Alehosseini et al., 2018
Té verde (<i>Camellia sinensis var Assamica</i>)	Flavonoides	Maltodextrina Goma de anacardo	Spray drying	Goma de anacardo 10,15,20% Maltodextrina 20,15,10% Extracto de té verde 7,5% Extracto:Recubrimiento 1:4 Temperatura de entrada de aire: 170°C Temperatura de salida de aire: 95°C Tasa de alimentación: 3mL/min	33% (A) 30,5% (B) 28,25% (C)	-	-	Silva et al., 2018

Frutos de jujara (<i>Euterpe edulis Martius</i>)	Antocianinas	Goma arábica Maltodextrina	Spray drying Freeze drying	Maltodextrina:Goma arábica 1:1 Spray drying Temperatura de entrada de aire: 126± 4 °C Temperatura de salida de aire: 89± 2 °C Tasa de alimentación: 28 mL/min Núcleo:Recubrimiento 2:3 Freeze drying Temperatura de congelación: -80°C Núcleo:Recubrimiento 2:3 2:1	64,06 % (Liof 2:1) 83,69% (Liof 2:3) 83,18% (SD 2:3)	-	-	Mazuco et al., 2018
Nr	Ácido gálico	Almidón de patata equivalente bajo en dextrosa hidrolizado con ácido	Spray drying Freeze drying	Almidón modificado 0,1;1,0;5,0;10g/100g Freeze drying 4g/100g humedad Spray drying Temperatura de entrada de aire: 160±5°C Temperatura de salida de aire: 75±5°C	70–84% freeze-dried 65–79% spray-dried	-	-	Sepelevs et al., 2018
Piel de cereza ácida	Antocianinas	Aislado de proteína de suero (WPI)	Freeze drying	WPI 5% Temperatura de congelación -42°C x 48 h a 0,10 mBar	70.30 ± 2.20%.	Jugo gástrico simulado pH 2,0 Pepsina de porcino Jugo intestinal simulado pH 7,0 Jugo duodenal *Antocianinas	Los resultados de la digestión <i>in vitro</i> sugieren que el aislado de proteína de suero protegen las antocianinas de la digestión gástrica, facilitando su liberación en el intestino.	Oancea et al., 2018
Propoleo	Éster fenético del ácido cafeico (CAPE) Fenetilamida de ácido cafeico (CAPA)	Hidroxipropil β-ciclodextrina (HP-β-CD)	Complejo de inclusión molecular	CAPE/HP-β-CD y CAPA/HP-β-CD se prepararon mezclando los compuestos con etanol, la mezcla se secó toda la noche a temperatura ambiente en un desecador al vacío.	Nr	-	-	Garrido et al., 2018
Ciruela (<i>Prunus salicina Lindl.</i>)	Polifenoles	Maltodextrina Goma arábica β-ciclodextrina	Spray drying	MD:β-CD:GA 7:2:1% (p/p/p) Óptimo Temperatura de entrada de aire 148,2°C Material de recubrimiento 23,7% Contenido de sólidos de alimentación 11,7%	Óptimo 87,7%	-	-	Li et al., 2018
Piel de cebolla morada	Polifenoles (Perfil de polifenoles) Flavonoides	Maltodextrina (MD) Aislado de proteína de soya Complejo de aislado de proteína de soya (SPI + MD)	Freeze drying	Núcleo:Recubrimiento 1:1 Temperatura de congelación: -40°C a -30°C x 20 hr	94.3061.50% (SPI + MD)	-	-	Mahamed y Yonis, 2018
Granada (variedad <i>Bhagwa</i>)	Antocianina	Maltodextrina	Spray drying	Maltodextrina 20g Antocianina 2g Temperatura de entrada de aire entre:151.4–170.0 °C Temperatura de salida de aire: 61.7°C	82.90%	Gástrico, intestino + tubo de diálisis (MWCO 12400, ancho plano de 40 mm) * Antocianinas totales	El estudio <i>in vitro</i> indicó que la encapsulación de la antocianina mejora la bioaccesibilidad de los fenólicos hasta cierto punto en la condición gástrica y duodenal.	Paul et al., 2018
Orujo de aceituna	Polifenoles	Maltodextrina	Spray drying	Óptimas Temperatura de entrada de aire: 132-160°C Maltodextrina concentración: 100-160g/L Tasa de alimentación 26-32 m ³ /h	Óptimo 85–92%,	-	-	Aliakbarian et al., 2018
Hojas de remolacha verde (<i>Vulgaris cv.</i>)	Betacianinas Betaxantinas	Alginato de sodio	Extrusión en húmedo	1,2g/100g Alginato de sodio 25 mol/L NaCl 2g/100g extracto	Nr	SFG (Fluido gástrico simulado) pH 2 Pepsina SIF (Fluido intestinal simulado) pH 7,5 Pancreatina y sales biliares	El entorno gástrico las cápsulas permanecieron intactas, sin embargo, en el entorno intestinal simulado las perlas de alginato se hincharon liberando los compuestos bioactivos de los extractos de la remolacha verde.	Gorbunova et al., 2018
Nuez de pecana (<i>Carya illinoensis</i>)	Polifenoles (Taninos condensados)	Zeina	Spray drying	Etanol 85% (v/v) Temperatura de entrada de aire: 120°C Temperatura de salida de aire: 40°C Tasa de alimentación 6mL/min	23,7 - 59,9% (Extracto acuoso) 37,3 - 58,6% (Extracto hidroalcohólico)	-	-	Kureck, et al., 2018
Canela (<i>Cinnamomum zeylanicum</i>)	Proantocianidina	Maltodextrina	Freeze drying Spray drying	PRCE 10 y 20% (p/v) Spray drying: 40 mL/min	Nr	-	-	Ostroschi et al., 2018

Maqui (<i>Aristotelia chilensis</i> [Mol. Stuntz])	Antocianinas	Inulina Alginato de sodio	Spray drying	Inulina (2,8-10 g) Alginato de sodio (0,47-3 g) MJ (2,33 g) MJ-IN (1:1,5-1:4) MJ-AL (1:0,5-1:2) Temperatura de entrada de aire: 150–190 ± 1 °C Tasa de alimentación: 600 L/h, 1 mL/min	Óptimo 74,4% (IN) 45,4% (ALG)	Boca: Saliva artificial, pH 7,0 y a-amilasa. Estómago: pH 2,0 y solución de pepsina, jugo gástrico artificial. Intestino: pH 6,0, jugo intestinal artificial y pancreatina Bioaccesibilidad	La bioaccesibilidad de las antocianinas en las microcápsulas de MJ-IN fue de 43%, mientras que para MJ-AL el porcentaje fue de 44,1%. Un porcentaje mucho mayor al que se obtiene del jugo de maqui no encapsulado (31,1%). Este valor se puede atribuir a la alta degradación de las antocianinas en condiciones gastrointestinales. El estudio demuestra el efecto protector de la inulina y el alginato sobre las antocianinas en la simulación <i>in vitro</i> .	Fredes et al., 2018
Aceite de semilla de uva	Polifenoles	Maltodextrina Goma arábiga	Spray drying	Temperatura de entrada de aire: 180 °C ± 3 °C Temperatura de salida de aire: 105 °C ± 8 °C Tasa de alimentación: 350 mL/h Presión 1,8 Bar	67,92 ± 1,55% (GA) 63,47 ± 0,49% (GA/MD)	-	-	Boger et al., 2018
Extracto de canela (<i>Cinnamomum zeylanicum</i>)	Proantocianidina	Gelatina y polisacáridos (Goma arábiga) Pectina, Goma de anacardo, Carboximetilcelulosa y k-carragenina)	Coacervación compleja	Gelatina, Goma arábiga y Goma de anacardo: 5g/100mL k-carragenina 2,5g/100mL Carboximetilcelulosa: 1g/100mL SD-PRCE: 25-30-35% Gelatina: Polisacárido 1:1,2:1;1,2,5;7:1,4:1	65 ± 4% - 86 ± 6%	-	-	de Souza et al., 2018
Baya del saúco (<i>Sambucus nigra</i> L.)	Polifenoles (Perfil de polifenoles)	Pectina Aislado de proteína de suero	Freeze drying	WPI 5% (w/v) Pectina de manzana 2% (p/v) WPI:Pectina 1:1 Temperatura de congelación: -42°C x 48 h a 0,10 Bar	97,13 ± 1,47%	-	-	Stanciu et al., 2018
Extracto de semilla de uva	Carvacrol	Quitosano	Gelificación iónica	Tween-80 34,4 d de extracto 3,2 mL de carvacrol Las perlas se secaron y se almacenaron a 25°C y 57% de humedad relativa	Nr	-	-	Alves et al., 2018
Hojas de olivo	Oleuropeína	Inulina	Spray drying	Inulina 36 g y agua destilada (344mL) a 65-70°C Temperatura de entrada de aire: 136°C Tasa de alimentación: 2mL/min Presión aire 0,5MPa.	78,7 ± 0,42%	-	-	Pacheco et al., 2018
Extracto de <i>Salvia officinalis</i>	Nr	Gelatina Pectina	Coacervación compleja	0,5 g extracto de salvia 28,5 mL gelatina 5%(p/v), 40°C. 5% (p/v) solución de pectina pH3, 5°C pH9, solución hidróxido 20% (p/p) Las microcápsulas se lavaron y se filtraron	Nr	-	-	Bachir et al., 2018
Cereza de cornalina, Arándano y Chokeberry	Polifenoles (Flavonoides)	Alginato	Gelificación iónica	Alginato de sodio 2g Sacarosa 5 g 100 mL jugo (cerezam chokeberry y arándano) CaCl2 2% a 7°C	5% chokeberry 89% blackberry 70 % cornelian cherry	-	-	Ivanova et al., 2018
Hoja de olivo	Oleuropeína	Inulina	Spray drying	OLE:IN 1:0,34; 1:2,15 Temperatura de entrada de aire: 135-184°C Tasa de alimentación 3mL/min Presión 20 Psi	Óptimo > 87%	-	-	Urzúa et al., 2017
Flavonoides	Quercetina Epicatequina	Inulina (IN) Aislado de proteína de soya (SPI)	Spray drying	Flavonoide:Inulina 1:20; 1:50 Temperatura de aire: 120-160°C SPI (0-1,7 g)	36,7 -77% (E-IN-SPI) 26,7-54,1% (Q-IN-SPI)	-	-	Morelo et al., 2017
Jugo de cereza ácida	Antocianinas Glicósidos de flavonol	Maltodextrina	Spray drying	MD 13-17 DE Maltodextrina:Jugo 3:1 Temperatura de entrada de aire: superior 200°C	Nr	-	-	Garofulic et al., 2017
Jugo de Chokeberry (<i>Aronia melanocarpa</i> L.)	Polifenoles	Maltodextrina (8 Dextrosa equivalente)	Spray drying	Temperatura de entrada de aire 150-155-160-165-170°C Temperatura de salida de aire: 89 ± 1 °C Tasa de alimentación: 10-15 L/h	Nr	-	-	Gawalek et al., 2017
Extracto de té verde	Catequinas	Gelatina Zeína	Electrospraying	Gelatina (8g/100g) Zeína (12g/100g) Extracto de té verde (20g/100g) Aguja diámetro interno: 0,9 mm Solución de gelatina: 15 kV y 0,2mL/h Solución de zeína: 13kV y 0,15 mL/h	0,9	-	-	Gomez-Mascaraque et al., 2017
Vino de frutas (chokeberry, grosella negra y arándano)	Polifenoles (Perfil de polifenoles)	Hidroxiopropil β-ciclodextrina Inulina	Spray drying	Material de recubrimiento 15% (p/p) Temperatura de entrada de aire: 140°C Temperatura de salida de aire: 70°C Cudal de aire de secado 75%	61–65% (IN) 69–73% (HP- β-CD)	-	-	Wilkowska et al., 2017

Extracto de té verde Extracto de piel de naranja	Polifenoles	Goma arábica Gelatina	Emulsión doble y Coacervación compleja	Gelatina:Goma arábica 1:1 (p/p) Material de pared: 50-75-100g/100g Emulsión W1/O Extracto de té verde:Extracto de piel de naranja 2:1 (w/v) PGPR 0,5% Emulsión W1/O/W2 La emulsión W1/O fue re emulsificada en una solución de gelatina a 50°C, pH 8,0 Coacervación compleja Goma arábica 40°C pH 4,0 10°C Las microcápsulas coacervadas pasaron por freeze-dried a -56°C x 24 h	16.1 ± 2.2% - 67.1 ± 3.0%	-	-	Ghahroudi et al., 2017
Fruta Cagaita (<i>Eugenia dysenterica DC.</i>)	Polifenoles (Proantocianidinas)	Goma arábica Inulina	Spray drying	Material de Recubrimiento 10, 20 y 30% (w/v) Temperatura de entrada de aire 120, 140, 160°C Tasa de alimentación 0,60 m3 / min	Nr	-	-	Daza et al., 2017
Jugo de chokeberry negro (<i>Aronia melanocarpa</i>) y vino.	Polifenoles (Perfil de polifenoles)	Maltodextrina Maltodextrina-Goma arábica Hidroxipropil β-ciclodextrina	Spray drying	Material de recubrimiento 15% (p/p) Temperatura de entrada de aire: 140°C Temperatura de salida de aire: 70°C Caudal de aire de secado: 75%	Jugo 38,1 ± 2,3 % (MD) 34,9 ± 1,9 % (MD +GA) 54,2 ± 2,7 % (HP-CD) Vino 47,5 ± 1,6 % (MD) 45,4 ± 2,0 % (MD +GA) 59,1 ± 2,4 % (HP-CD)	-	-	Wilkowska et al., 2017 b
Mate concentrado (<i>Ilex paraguariensis A. St. Hil.</i>)	Polifenoles	Maltodextrina DE10.2 - DE15.2 - DE18.6	Spray drying	Material de recubrimiento 30% (p/v) Temperatura de entrada de aire: 150 ± 5 °C Temperatura de salida de aire: 52 ± 5 °C Flujo de aire: 35 m3 / h 0,7 MPa	Nr	-	-	Negrao-Murakami et al., 2017
Cereza ácida	Polifenoles (Perfil de polifenoles)	Maltodextrina	Spray drying	Jugo de cereza: Maltodextrina 1:2 500 mL de jugo de cereza ácida Temperatura de entrada de aire: 150°C Temperatura de salida de aire: 72°C Filtro de acero inoxidable (0,1 μm) Temperatura de flujo de nitrógeno: 95°C Tasa de flujo caliente N2 1300 NL	Nr	-	-	Zoric et al., 2017
Extracto de orujo de oliva	Polifenoles	Maltodextrina	Atomización asistida supercrítica	Filtro de acero inoxidable (0,1 μm) Temperatura de flujo de nitrógeno: 95°C Tasa de flujo caliente N2 1300 NL	47.7% -72.5%.	-	-	Aliakbarian et al., 2017
Propoleo	Polifenoles	Almidón modificado	Spray drying	Capsul® 50 g Temperatura de entrada de aire: 150°C Temperatura de salida de aire: 100°C	76,86%	-	-	dos Reis et al., 2017
Extracto de hoja de olivo	Oleuropeína	Alginato de sodio Gelatina Maltodextrina	Coacervación compleja	Alginato de sodio 2% (p/v) Extracto de hoja de olivo 0,5% (p/v) CaCl2 2% (p/v) Caudal 1 mL/min Temperatura 3 y 20°C	31,12 ± 0,75% - 44,66 ± 0,78% (Perlas reticuladas) 94,28 ± 0,46% - 98,64 ±1,08% (Gelificado)	Estómago: pH 1 Intestino: pH 7,4 *Oleuropeína	Un incremento en la temperatura implica una mayor tasa de liberación. La adición de 5% de maltodextrina disminuye la liberación a ambas temperaturas y a pH 1, a pH 7,4, 37°C y un 5% de maltodextrina, se observa el incremento de la liberación de 5 a 10%. Se concluye que la concentración de maltodextrina no tuvo un efecto estadísticamente significativo en la tasa de liberación a 20°C.	Oral, 2017
Extracto de pulpa de algarrobo (<i>Ceratonia siliqua L.</i>)	Polifenoles (Flavonoides)	Policaprolactona	Emulsión doble	Emulsión W1/O Solución de extracto (70 mg extracto + 4 mL agua destilada) Metil celulosa 4 mg Solución orgánica Emulsión W1/O/W2 Emulsión W1/O en 200 mL de solución de PVA 400 rpm x 60 min	78,38 ± 0,37% (Verde) 56,63 ± 0,94% (Maduro)	Digestión oral: Fluido salival, a- amilasa, pH 7, Digestión gástrica: Pepsina, pH 3, Digestión intestinal: Pancreatina, sales biliares, pH 7 *Polifenoles totales y Flavonoides	Para el extracto de pulpa de algarrobo maduro no encapsulado, no hay diferencias significativas entre las cantidades de compuestos fenólicos después del proceso de digestión. Para el extracto encapsulado el contenido de polifenoles totales aumentó durante la digestión y el valor más alto se mostró en la fase intestinal. Para el extracto de algarrobo verde no encapsulado el contenido de polifenoles totales después de la digestión fue mayor en la fase gástrica mientras que en la fase oral e intestinal no exhibe diferencias significativa. En cuanto al TFC después de la digestión gastrointestinal, las mayores cantidades se encontraron en el medio gástrico para los extractos no encapsulados. Sin embargo, para los extractos encapsulados, la liberación de flavonoides fue mayor en el intestino.	Ydjedd et al., 2017
Piel de uva	Polifenoles (Perfil de polifenoles) Proantocianidinas	Maltodextrina	Spray drying	Velocidad de alimentación 4mL/min Maltodextrina (dextrosa) 6,5% (p/v) Flujo de secado: 700 L/h Temperatura de entrada: 150°C	Nr	-	-	Lavelli et al., 2017
Granada entera	Polifenoles	β-Ciclodextrinas	Inclusión molecular	β-CD 7,2% (p/p) 6 Bar	Nr	-	-	Diamanti et al., 2017

Mora	Antocianinas Rutina Ácido ferúlico	Maltodextrina	Spray drying	Antocianina: Copigmento 1:1 Maltodextrina 19 (DE-value 18-20) Temperatura de entrada de aire: 150°C Temperatura de salida de aire: 90°C Tasa de alimentación: 5mL/min	Nr	-	-	Weber et al., 2017
Propoleo	Polifenoles (Perfil de polifenoles)	Maltodextrina Goma arábica	Spray drying	Temperatura de entrada de aire: 120°C Temperatura de salida de aire: 70 y 74°C Tasa de alimentación 8mL/min	93 ± 7%	-	-	Busch et al., 2017
Té verde	Epigallocatequina galato	Alginato de sodio (AL) AL- hidroxipropilmetilcelulosa A - goma de algarrobo	Extrusión por goteo	Mezcla Binaria 80:20 70:30 Voltaje 4 y 6 kV CaCl ₂ 2% (p/p) Extracto de té verde 2% (p/v)	Nr	-	-	Belscak et al., 2017

Anexo 2.

Tabla 5. Información obtenida mediante “polyphenols microencapsulation” + “spray drying”, correspondiente a 75 artículos.

Fuente	Compuesto fenólico	Agente encapsulante	Método de encapsulación	Variables del proceso	Eficiencia de encapsulación	Referencia
Hipérico (<i>Hypericum perforatum</i> L.) Salvia (<i>Salvia officinalis</i> L.) Clavo de olor (<i>Syzygium aromaticum</i>)	Rutina Ácido gálico	Quitosano modificado	Spray drying	Caudal: 4 mL/min Temperatura de entrada de aire: 115°C Temperatura de salida: 58°C Presión del aire: 5-6 bar	≈ 100 %	Estevinho et al., 2021
Jugo de granada	Polifenoles (Antocianinas)	Maltodextrina Goma arábiga	Spray drying	Maltodextrina-Goma arábiga 4:1 Temperatura de entrada de aire: 110°C Flujo de bomba 600 mL/min	75,10%	Álvarez et al., 2021
Corteza de <i>Pinus pinaster</i> L.	Polifenoles (Perfil de polifenoles)	Maltodextrina	Spray drying	Diseño estadístico Temperatura de entrada de aire: 140-180 °C Relación LPBE:MD 1:25-1:35 (p/p) Tasa de flujo 1-4 mL/min	Óptimo 67% (TPC)	Ferreira et al., 2021
Zaumaque (<i>Rhus coraria</i> L.)	Polifenoles (Perfil de polifenoles)	Maltodextrina Ciclodextrina Goma arábiga	Spray drying	Extracto fenólico: material de recubrimiento 1:1 1:2	85,6% (M2T2) 81,3 % (C2T2) 65,3% (G2T2)	Grassia et al., 2021
Pulpa de Arazá (<i>Eugenia stipitata</i>)	Polifenoles	Maltodextrina Goma arábiga	Spray drying	T° secado: 100 y 120 °C (Pulpa de materia seca: Material de pared) 1:0,5 1:1 1:1,5 Caudal de alimentación: 0,1 L/h	Nr	Iturri et al., 2021
Cactus (<i>Opuntia atropes</i>)	Polifenoles	Aislado de proteína de soja Caseinato de calcio Maltodextrina	Spray drying	(Material de pared: Extracto) 1:1 2,5/1 4:1 Temperatura 95-105-115°C % Spray 40- 70 - 100 %	Óptimo 55,69%%	Rodríguez et al., 2020

Acerola (<i>Malpighia emarginata</i>)	Polifenoles	Goma arábica Maltodextrina	Spray drying	Goma arábica 0,25 - 0,50 - 0,75 g Maltodextrina 0,25 - 0,5 g Subproducto de acerola 1,75 - 2,0 Temperatura de entrada de aire 165 ± 10 °C Temperatura de salida 70 ± 10 °C	66,45-99,56%	Pinheiro et al., 2020
Jugo de remolacha	Polifenoles	Goma arábica Maltodextrina	Spray drying	<i>L. fermentum</i> : <i>L. plantarum</i> : <i>L.brevis</i> 1:1:1 Maltodextrina y Goma arábica al 10% (p/p) Temperatura de entrada de aire 160°C Temperatura de salida de aire 70 ± 2 °C.	Nr	Janiszewska et al., 2020
Extracto de flor de Jamaica (<i>Hibiscus sabdariffa</i>)	Antocianinas	Aislado de proteína de suero (WP) Polidextrosa (PD)	Spray drying Freeze drying	PD 10% (p/p) - WPI 10% - PD: WPI 1:1 (p/p) Spray dryer Temperatura de entrada de aire: 160°C Temperatura de salida de aire: 880°C Caudal: 0,6 - 40,5 L/h Freeze dryer T° de congelación: -68°C T° de liofilización: -57°C Presión de vacío: 20 umHg 54h	38% - 77%	Cassol et al., 2020
Fruto de nopal rojo (<i>Opuntia ficus-indica</i>)	Polifenoles y betalainas	Almidón Maltodextrina	Spray drying Freeze drying	Spray drying Almisón: Maltodextrina 100:0; 70:30; 50:50 Temperatura de entrada de aire: 130°C Temperatura de salida de aire: 80°C Tasa de alimentación: 6mL/min Freeze drying T° congelación: -40°C T° de sublimación: -25 a -5°C, rango 0,65°C/min 24h	Nr	Morales et al., 2020

Hojas de té	Polifenoles de té (TP) ε- poli-L-lisina (ε-PL)	Ácido poliláctico (PLA) Etilcelulosa (EC)	Spray drying	TP/ε-PL 5:1 Ácido poliacético: 3,30 g Etilcelulosa: 6,70 g Temperatura de entrada de aire: 45°C Tasa de alimentación 180 mL/h	Nr	Yang et al ., 2020
Membrillo japonés (<i>Chaenomeles japonica</i>)	Polifenoles	Maltodextrina Inulina	Freeze drying Vacuum drying Spray drying	Freeze drying Temperatura cámara de secado -30°C Spray drying Temperatura de entrada de aire 180°C Tasa de alimentación 40 mL/min Vacuum drying Temperatura 50,70 y 90°C Presión 1kPa x 24, 48 y 72 h	Nr	Turkiewicz et al ., 2020
Yerba mate (<i>Ilex paraguariensis</i>)	Polifenoles	Maltodextrina	Spray drying Freeze drying	Maltodextrina: Extracto de yerba mate 2:1 Freeze drying Temperatura de congelación: -60°C Presión 0,05 bar x 48 h Spray drying Tasa de alimentación 2mL/min Temperatura de entrada de aire: 120 °C	Nr	Fenoglio et al., 2020
Laurel (<i>Laurus nobilis L.</i>)	Ácido gálico Extracto de laurel	Quitosano Alginato de sodio Goma arábiga	Spray drying	10 mL de extracto de laurel 100 mL de agente encapsulante 1% (p/p) Presión 5 bar Temperatura de entrada de aire: 115°C Temperatura de salida: 65°C	72,9 - 99,3%	Chaumon et al., 2020
Cáscara de rambután	Polifenoles	Maltodextrina	Spray drying	Óptimo agente encapsulante 10% (p/p) Núcleo: Agente encapsulante 1:4 Temperatura de entrada de aire: 160°C Temperatura de salida: 80°C	Nr	Boyano et al., 2020

Residuo de Té negro	Polifenoles	Pectina (PE) Caseinato de sodio (SCN) Pectina - Caseinato de sodio (PE + SCN)	Spray drying	100% Pectina 100% Caseinato de sodio 50%: 50% Pectina:Caseinato Temperatura de entrada: 140°C Temperatura de salida: 85°C ± 3°C Tasa de alimentación: 5 mL/min	75.77 ± 1.023% (PE) 60.07c ± 0.002%(SCN) 81.56 ± 1.998% (PE +SCN)	Rajapaksha y Shimizu, 2020
Extracto de hoja de oliva	Secoiridooides Oleuropeína	Inulina Maltodextrina	Spray drying	OLE: Inulina 1:2 OLE: Maltodextrina 1:1,3 Temperatura de entrada de aire: 166°C Tasa de alimentación: 3mL/min	Óptimo 92.2% (MD) 81.6% (IN)	Gonzales et al., 2020
Caáscaras de granada	Polifenoles	Polvo de residuo de naranja	Spray drying	Material de recubrimiento: Extracto 9:1 Temperatura de entrada de aire: 162°C Tasa de alimentación: 15,5 m3/h	Nr	Kaderides K et al., 2020
Col morada (RCA) Achicoria roja (RCH)	Polifenoles	Almidón modificado	Spray drying	Temperatura de entrada de aire: 140 ± 3 Temperatura de salida de aire: 70 ± 3 Caudal de alimentación: 5mL/min	79% (RCA) 88% (RCH)	Zanoni et al., 2020
Hibisco (<i>Hibiscus sabdariffa</i>)	Polifenoles Ácido gálico	Maltodextrina Goma arábica	Spray drying	Óptimo 2,5% Hibiscus w/w Extracto: Material de pared 1:1 Maltodextrina:Goma arábica 80:20 Homogenización: 10000 rpm Temperatura de entrada de aire: 150°C	Óptimo 86.70 ± 2.23	Navidad et al., 2020
Orujo de granada	Polifenoles (Ácido Elágico y ácido gálico)	Pectina de bajo metoxilo	Spray drying	Extracto de granada: Pectina 1:4 Temperatura de entrada de aire: 160°C tasa de alimentación: 11 mL/min	≈ 50%	Turrini et al., 2020

Jugo de naranja	Polifenoles	Maltodextrina Alginato de sodio	Spray drying	Óptimo Maltodextrina 7% (p/p) Alginato de sodio 0,1% (p/v) Temperatura de entrada de aire: 160°C Flujo de alimentación: 14 mL/min	Nr	Rodríguez J., et al 2020
Orujo de uva	Polifenoles (Perfil de polifenoles)	Maltodextrina Goma arábica	Spray drying Freeze drying	Maltodextrina:Goma arábica 10:0; 8:2; 6:4 Núcleo: Material de pared 1:1 Spray drying Tasa de alimentación: 12 mL/min Temperatura de alimentación; 25°C Freeze drying Temperatura de congelación: -85°C x 24h	Nr	Tolun et al., 2020
Cáscara de tuna púrpura (<i>Opuntia ficus indica</i>)	Polifenoles	Maltodextrina Goma arábica	Spray drying	Temperatura de entrada de aire 160°C, 170°C y 180°C Temperatura de salida de aire 70°C, 80°C Agente encapsulante (%) 10, 15 y 20%	Nr	Toledo et al., 2019
Hueso de aceituna	Polifenoles Flavonoides	Quitosano	Spray drying	1% Quitosano Quitosano: Extracto 1:1,25 Temperatura de entrada de aire óptima: 200°C Temperatura de salida de aire óptima: 94± 2°C Tasa de alimentación: 9,5 mL/min	Óptimo 76,89%	Nakilcioğlu-Tas y Otlas, 2019
Anacardo (<i>Anacardium occidentale L.</i>)	Polifenoles	Maltodextrina Octenilsuccinato de almidón	Spray drying	Maltodextrina 100% Octenilsuccinato de almidón 100% Maltodextrina:Octenilsuccinato de almidón 40:60	Nr	Maia et al., 2019
Subproductos del brócoli	Polifenoles Flavonoides	Maltodextrina Capsul	Spray drying	Material de recubrimiento 10% - 20% - 30% (w/v) Núcleo: Material de recubrimiento 1:2; 1:5; 1:10; 1:20 Temperatura de entrada de aire 20,100,130,150,170°C	Nr	Marinelli et al., 2019

Jugo de mora	Polifenoles	Maltodextrina (MD) Goma arábica (GA) Proteínas de suero de leche (WPI)	Spray drying	Jugo de mora: Material de pared 1:0,25 Temperatura de entrada de aire: 110°C Temperatura de salida de aire: 85 ± 1 °C Tasa de alimentación: 11,5 mL/min	Nr	Khalifa., et al 2019
Pétalo de azafrán	Polifenoles	Maltodextrina Pectina	Spray drying Freeze drying	Maltodextrina 10 - 10,5 -11 -12% Pectina 1 - 1,5 - 2 % Spray drying Temperatura de entrada de aire: 160°C Temperatura de salida de aire: 83°C Tasa de alimentación: 6mL/min Freeze drying Temperatura de congelación: -20°C x 24 h	Spray drying 71.25 ± 0.403% Freeze drying 74.29 ± 0.279%	Ahmadian et al., 2019
Hibisco (<i>Hibiscus sabdariffa L.</i>)	Polifenoles y antocianinas	Aceite de colza Pectina HE	Emulsión doble A1/O/A2 Extrusión por goteo Spray drying	Emulsión A1/O Aceite de colza y Surfactante PGPR 65:35 Emulsión A1/O/A2 La emulsión A1/O se mezcla con el extracto de hibiscus Extrusión por goteo CaCl2 3% Presión de aire: 200 mbar Frecuencia de vibración 100 Hz Tensión del electrodo de 400 V Spray drying CaCl2 3% Presión de aire: 0,15 Bar Tasa de alimentación: 1,30 mL/min	Nr	Moura et al., 2019
<i>Moringa oleifera</i>	Polifenoles	Aislado de proteína de soya (SPI) Aislado de proteína de arveja (PPI)	Spray drying	Temperatura de entrada de aire: 140, 160, 180°C Núcleo: Material de pared 1:4; 1:9% (p/p)	53.82 ± 0.26% - 79.30 ± 0.24% (PPI) 52.34 ± 0.38% - 75.19 ± 0.04% (SPI)	Airouyuwa y Kaewmanee, 2019
Baya de sauco (<i>Sambucus nigra</i>)	Antocianinas	β-glucano Maltodextrina Goma arábica	Spray drying	Temperatura de entrada de aire: 140°C β-glucano 0,5-1-2 y 3 %	80.45 ± 1.39% (MD+GA) 77.97 ± 2.35% - 93.91 ± 2.72% (BG)	Sobieralska y Andrezej, 2019
Baya de sauco (<i>Sambucus nigra L.</i>)	Polifenoles	Goma arábica Alginato de sodio Quitosano modificado	Spray drying	Temperatura de entrada de aire: 115°C Temperatura de salida de aire: 58°C Presión de aire: 5-6 bar	92,3-99,8%	Ribeiro et al., 2019
Sorgo rojo	Polifenoles	Extruidos fosforilados, Acetilados y Almidón de sorgo esterificado	Spray drying	Temperatura de entrada de aire: 150±1 °C Temperatura de salida de aire: 80±5°C Tasa de alimentación: 10 mL/min	91.4.% (M-PS) 89.7% (M-AS) 84.6%.(M-DES)	García et al., 2019

Maíz azul	Antocianinas	Fructanos de agave	Spray drying	Fructano de agave 6,8,10,12% (p/v)	Nr	Sanchez et al., 2019
Hibisco (<i>Hibiscus sabdariffa</i> L.)	Polifenoles (Antocianinas)	Aceite de colza Pectina HE	Emulsión doble A1/O/A2 Extrusión por goteo Spray drying	Pectina 1,5% Agua caliente 24,3% Gelatinas 0,54 g / 100 g de antocianina extracto. 7,14 g / 100 g de micropartículas de antocianina obtenido por atomización 7,14 g / 100 g de micropartículas de antocianina obtenidas por goteo-extrusión	Nr	Moura et al., 2019
Extracto de propoleo	Polifenoles (Perfil de polifenoles)	Proteína de arveja concentrado	Spray drying	Material de pared CPP 2 - 4 - 6% (p/v) Extracto de propóleo 2% (w/v) Temperatura de entrada de aire: 120°C Temperatura de salida de aire: 72 ± 3 °C Tasa de alimentación 0,4 m3/min	Óptimo 26.92 ± 0.1% - 100.00 ± 0.2%	Jansen et al., 2019
Extracto de hoja de olivo	Secoiridoides Oleuropeína	Alginato de sodio	Spray drying	Óptimo Extracto de hoja de olivo: Alginato de sodio 1:1,6 Temperatura de entrada de aire: 135°C	Óptimo 60,8 %	Gonzáles et al., 2019
Palma juçara (<i>Euterpe edulis</i> <i>Martius</i>)	Polifenoles (Antocianinas)	Maltodextrina Goma arábica Inulina	Spray drying	Agentes encapsulantes 30% (w/v) Extracto: Agente 1:3 Tasa de alimentación: 2 mL/min Temperatura de salida de aire óptimo Maltodextrina 50°C, Goma arábica 70°C, Inulina 70°C	Nr	Lima et al., 2019
Maíz azul (<i>Zea mays</i> L.)	Polifenoles (Antocianinas)	Maltodextrina (MD) Maltodextrina-Pectina (MP)	Spray drying	MD 120 g/L sólidos totales MP 120 g/L sólidos totales Temperatura de entrada de aire: 150°C Temperatura de salida de aire: 80 ± 2 °C Tasa de alimentación: 0.52 m3/min	Nr	Canizales et al., 2019
Pulpa de acai Fruto de <i>Euterpe edulis</i> Martius	Polifenoles (Antocianinas)	Maltodextrina Inulina Goma arábica	Spray drying	Recubrimiento 30% (p/v) Extracto:Recubrimiento 1:3 (v/v) Temperatura de entrada de aire: 136°-140°C Temperatura de salida de aire: 50°C	87,66% (IN) 87,19% (GA) 79,73% (MD)	Bernardes et al., 2019

Piel de uva (<i>Vitis labrusca</i> var. <i>Isabel</i>)	Polifenoles	Goma arábiga β-ciclodextrina Hidroxiopropil β-ciclodextrina	Inclusión molecular Spray drying	GA (5% goma arábiga); GA/β-CD1 (4% goma arábiga y 1% β-ciclodextrina) GA/β-CD2 (3% goma arábiga y 2% β-ciclodextrina) GA/HP-β-CD1 (4% goma arábiga y 1% hidroxiopropil-β-ciclodextrina) GA/HP-β-CD2 (3% goma arábiga y 2% hidroxiopropil-β-ciclodextrina). Inclusión molecular 5000 rpm x 3 min y agitar 1 h. Spray drying Tasa de alimentación: 0,6L/h Temperatura de entrada de aire: 160°C	Nr	Kuck y Zapata, 2019
Cáscara de cacao	Polifenoles (Perfil de polifenoles)	Maltodextrina Goma arábiga	Spray drying	P1: 100% DE P2-P6: SA:DE, 80:20 (p/p) P7: SA:DE, 60:40 (p/p) Temperatura de entrada de aire: 150°C Temperatura de salida de aire: 80°C Tasa de alimentación: 7 mL/min	Nr	Papillo et al., 2018
Arroz negro italiano (<i>Oryza sativa</i> L., var. <i>Artemide</i>)	Polifenoles (Perfil de polifenoles) Antocianinas Taninos	Maltodextrina Goma arábiga	Spray drying	MD/GA: 50/50 (p/p) Recubrimiento: Extracto 80:20 Temperatura de entrada de aire: 150°C Tasa de alimentación 7 mL/min	Nr	Papillo et al., 2018
Cáscara de jabuticaba (<i>Plinia cauliflora</i>)	Polifenoles	Quitosano	Spray drying	Quitosano:Extracto 115:1; 39:1; 6:1; 6:1 Tasa de alimentación: 6 mL/min Temperatura de entrada de aire: 140°C Temperatura de salida de aire: ~100°C	Óptimo 89.74±3.28 (MP04)	Cabral et al., 2018
Orujo de uva	Polifenoles (Antocianinas)	Maltodextrina (MD) Aislado de proteína de suero (WPI) Aislado de proteína de arveja(PPI)	Spray drying	Recubrimiento: Extracto 0,3:1; 2:1 Temperatura de entrada de aire: 140°C Temperatura de salida de aire: 81°C Tasa de alimentación: 21,5g/min Control fue liofilizado a-25°C x 96 h	Nr	Moreno et al., 2018

Hojas de romero (<i>Rosmarinus officinalis</i> L.)	Polifenoles	Maltodextrina	Doble emulsión y Spray drying	Emulsificantes Polirricinoleato de poliflicerol 4% Aislado de proteína de suero 2,4% Emulsión RPE/O 50/50 Emulsión RPE/O/W 15% MD WPI 2,4% 40% RPE/O 60% WPI y MD Spray drying Temperatura de entrada de aire: 175±2°C Temperatura de salida de aire: 90°C Caudal de alimentación: 18%	39,57 y 42,83 % (4% WPI)	Busic et al., 2018
Té verde (<i>Camellia sinensis</i> var <i>Assamica</i>)	Flavonoides	Maltodextrina Goma de anacardo	Spray drying	Goma de anacardo 10,15,20% Maltodextrina 20,15,10% Extracto de té verde 7,5% Extracto:Recubrimiento 1:4 Temperatura de entrada de aire: 170°C Temperatura de salida de aire: 95°C Tasa de alimentación: 3mL/min	33% (A) 30,5% (B) 28,25% (C)	Silva et al., 2018
Frutos de juçara (<i>Euterpe edulis</i> Martius)	Antocianinas	Goma arábica Maltodextrina	Spray drying Freeze drying	Maltodextrina:Goma arábica 1:1 Spray drying Temperatura de entrada de aire: 126± 4 °C Temperatura de salida de aire: 89± 2 °C Tasa de alimentación: 28 mL/min Núcleo:Recubrimiento 2:3 Freeze drying Temperatura de congelación: -80°C Núcleo:Recubrimiento 2:3 2:1	64,06 % (Liof 2:1) 83,69% (Liof 2:3) 83,18% (SD 2:3)	Mazuco et al, 2018
Nr	Ácido gálico	Almidón de patata equivalente bajo en dextrosa hidrolizado con ácido	Spray drying Freeze drying	Almidón modificado 0,1;1,0;5,0;10g/100g Freeze drying 4g/100g humedad Spray drying Temperatura de entrada de aire: 160±5°C Temperatura de salida de aire: 75±5°C	70–84% freeze-dried 65–79% spray-dried	Sepelevs et al., 2018

Ciruela (<i>Prunus salicina</i> Lindl.)	Polifenoles	Maltodextrina Goma arábica β -ciclodextrina	Spray drying	MD: β -CD:GA 7:2:1% (p/p/p) Óptimo Temperatura de entrada de aire 148,2°C Material de recubrimiento 23,7% Contenido de sólidos de alimentación 11,7%	Óptimo 87,7%	Li et al., 2018
Granada (variedad <i>Bhagwa</i>)	Antocianina	Maltodextrina	Spray drying	Maltodextrina 20g Antocianina 2g Temperatura de entrada de aire entre:151.4–170.0 °C Temperatura de salida de aire: 61,7°C	82,90%	Paul et al., 2018
Orujo de aceituna	Polifenoles	Maltodextrina	Spray drying	Óptimas Temperatura de entrada de aire: 132-160°C Maltodextrina concentración: 100-160g/L Tasa de alimentación 26-32 m3/h	Óptimo 85–92%,	Aliakbarian et al., 2018
Canela (<i>Cinnamomum zeylanicum</i>)	Proantocianidina	Maltodextrina	Freeze drying Spray drying	PRCE 10 y 20% (p/v) Spray drying: 40 mL/min	Nr	Ostroschi et al., 2018
Maqui (<i>Aristotelia chilensis</i> [Mol. Stuntz])	Antocianinas	Inulina Alginato de sodio	Spray drying	Inulina (2,8-10 g) Alginato de sodio (0,47-3 g) MJ (2,33 g) MJ-IN (1:1,5-1:4) MJ-AL (1:0,5-1:2) Temperatura de entrada de aire: 150–190 \pm 1 °C Tasa de alimentación: 600 L/h, 1 mL/min	Óptimo 74,4% (IN) 45,4% (ALG)	Fredes et al., 2018
Aceite de semilla de uva	Polifenoles	Maltodextrina Goma arábica	Spray drying	Temperatura de entrada de aire: 180 °C \pm 3 °C Temperatura de salida de aire: 105 °C \pm 8 °C Tasa de alimentación: 350 mL/h Presión 1,8 Bar	67.92 \pm 1.55% (GA) 63.47 \pm 0.49% (GA/MD)	Boger et al., 2018
Hojas de olivo	Oleuropeína	Inulina	Spray drying	Inulina 36 g y agua destilada (344mL) a 65-70°C Temperatura de entrada de aire: 136°C Tasa de alimentación: 2mL/min Presión aire 0,5MPa.	78.7 \pm 0.42%	Pacheco et al., 2018
Hoja de olivo	Oleuropeína	Inulina	Spray drying	OLE:IN 1:0,34; 1:2,15 Temperatura de entrada de aire: 135-184°C Tasa de alimentación 3mL/min Presión 20 Psi	Óptimo > 87%	Urzúa et al., 2017
Flavonoides	Quercetina Epicatequina	Inulina (IN) Aislado de proteína de soya (SPI)	Spray drying	Flavonoide:Inulina 1:20; 1:50 Temperatura de aire: 120-160°C SPI (0-1,7 g)	36,7 -77% (E-IN-SPI) 26,7-54,1% (Q-IN-SPI)	Morelo et al., 2017

Jugo de cereza ácida	Antocianinas Glicósidos de flavonol	Maltodextrina	Spray drying	MD 13-17 DE Maltodextrina:Jugo 3:1 Temperatura de entrada de aire: superior 200°C	Nr	Garofulic et al., 2017
Vino de frutas (chokeberry, grosella negra y arándano)	Polifenoles	Hidroxiopropil β-ciclodextrina Inulina	Spray drying	Material de recubrimiento 15% (p/p) Temperatura de entrada de aire: 140°C Temperatura de salida de aire: 70°C Cudal de aire de secado 75%	61–65% (IN) 69–73% (HP- β--CD)	Wilkowska et al., 2017
Jugo de Chokeberry (<i>Aronia melanocarpa L.</i>)	Polifenoles	Maltodextrina	Spray drying	Temperatura de entrada de aire 150-155-160-165-170°C Temperatura de salida de aire: 89 ± 1 °C Tasa de alimentación: 10-15 L/h	Nr	Gawalek et al., 2017
Fruta Cagaita (<i>Eugenia dysenterica DC.</i>)	Polifenoles Proantocianidinas	Goma arábica Inulina	Spray drying	Material de Recubrimiento 10, 20 y 30% (v/v) Temperatura de entrada de aire 120, 140, 160°C Tasa de alimentación 0,60 m3 / min	Nr	Daza et al., 2017
Jugo de chokeberry negro (<i>Aronia melanocarpa</i>) y vino.	Polifenoles (Perfil de polifenoles)	Maltodextrina Maltodextrina-Goma arábica Hidroxiopropil β-ciclodextrina	Spray drying	Material de recubrimiento 15% (p/p) Temperatura de entrada de aire: 140°C Temperatura de salida de aire: 70°C Caudal de aire de secado: 75%	Jugo 38,1 ± 2,3 % (MD) 34,9 ± 1,9 % (MD +GA) 54,2 ± 2,7 % (HP-CD) Vino 47,5 ± 1,6 % (MD) 45,4 ± 2,0 % (MD +GA) 59,1 ± 2,4 % (HP-CD)	Wilkowska et al., 2017
Mate concentrado (<i>Ilex paraguariensis A. St. Hil.</i>)	Polifenoles	Maltodextrina	Spray drying	Material de recubrimiento 30% (p/v) Temperatura de entrada de aire: 150 ± 5 °C Temperatura de salida de aire: 52 ± 5 °C Flujo de aire: 35 m3 / h 0,7 MPa	Nr	Negrão-Murakami et al., 2017
Cereza ácida	Polifenoles (Perfil de polifenoles)	Maltodextrina	Spray drying	Jugo de cereza: Maltodextrina 1:2 500 mL de jugo de cereza ácida Temperatura de entrada de aire: 150°C Temperatura de salida de aire: 72°C	Nr	Zoric et al., 2017
Propoleo	Polifenoles	Almidón modificado	Spray drying	Capsul® 50 g Temperatura de entrada de aire: 150°C Temperatura de salida de aire: 100°C	76,86%	Soares dos Reis et al., 2017
Piel de uva	Polifenoles (Perfil de polifenoles) Proantocianidinas	Maltodextrina	Spray drying	Velocidad de alimentación 4mL/min Maltodextrina (dextrosa) 6,5% (p/v) Flujo de secado: 700 L/h Temperatura de entrada: 150°C	Nr	Lavelli et al., 2017
Mora	Antocianinas Rutina Ácido ferúlico	Maltodextrina	Spray drying	Antocianina: Copigmento 1:1 Maltodextrina 19 (DE-value 18-20) Temperatura de entrada de aire: 150°C Temperatura de salida de aire: 90°C Tasa de alimentación: 5mL/min	Nr	Weber et al., 2017
Propoleo	Polifenoles (Perfil de polifenoles)	Maltodextrina Goma arábica	Spray drying	Temperatura de entrada de aire: 120°C Temperatura de salida de aire: 70 y 74°C Tasa de alimentación 8mL/min	93 ± 7%	Busch et al., 2017

Anexo 3.

Tabla 6. Autores que utilizaron un diseño de experimento en microencapsulación por secado por atomización en los últimos 5 años.

Diseño experimental	Referencia
Diseño factorial	
2^3	Boyano et al., 2020
3^2	Aliakbarian et al., 2018; Daza et al., 2017
3^{3-1}	Rodríguez et al., 2020
2x3x2	Airouyuwa y Kaewmanee, 2019
3x2x3	Toledo et al., 2019
Diseño de compuesto central	Ferreira et al., 2021
Calorimetría diferencial de barrido	Iturri et al., 2021
Diseño de celosía simple	Khalifa et al., 2019
Diseño completamente aleatorio	Lima et al., 2019
Diseño de Taguchi T 8	Navidad et al., 2020
Método de un factor a la vez	Nakilcioğlu-Tas y Otles, 2019

(Elaboración a partir de la tabla 5)

Anexo 4.

Tabla 7. Variables estudiadas en los diseños de experimento realizados por secado por atomización en los últimos 5 años.

Diseño experimental	Variables del proceso (independientes)	Variables respuesta (dependientes)	Referencia
Diseño compuesto central	Temperatura del aire de entrada Proporción activo: agente encapsulante Flujo de alimentación	Contenido de humedad Eficiencia de encapsulación (%) Actividad antioxidante Contenido total de polifenoles	Ferreira et al., 2021
Calorimetría diferencial de barrido	Proporción activo: agente encapsulante Flujo de alimentación Flujo de aire comprimido Temperatura de bulbo de aire seco	Actividad antioxidante (ABTS, DPPH, FRAP)	Iturri et al., 2021
Diseño factorial 3 ⁽³⁻¹⁾	Temperatura del aire de entrada Flujo de alimentación Concentración de agente encapsulante (%)	Rendimiento (%) Contenido total de polifenoles Contenido de humedad Densidad aparente	Rodríguez et al., 2020
2 ⁽³⁾ Factorial design	Temperatura del aire de entrada Temperatura del aire de salida Concentración de agente encapsulante (%)	Contenido total de polifenoles Actividad antioxidante Contenido de humedad Actividad de agua	Boyano et al., 2020
Diseño factorial completo de 3 ⁽²⁾	Concentración agente encapsulante (%) Temperatura de cámara de secado (Tc)	Rendimiento (%) Contenido de humedad Solubilidad en agua de las microcápsulas Contenido total de polifenoles Actividad antioxidante Eficiencia de encapsulación (%)	Aliakbarian et al., 2018
Diseño de Taguchi L8	Concentración del activo (%) Proporción de agentes encapsulantes Proporción activo: agente encapsulante Temperatura del aire de entrada	<u>Propiedades fisicoquímicas</u> Rendimiento (%) Eficiencia de encapsulación (%) Contenido de humedad Actividad de agua pH Solubilidad Análisis de humectabilidad Densidad aparente. <u>Polifenoles totales solubles (TPS)</u>	Navidad et al., 2020
Diseño factorial 3x2x3	Temperatura del aire de entrada Temperatura del aire de salida Concentración de agente encapsulante (%)	Contenido total de polifenoles Actividad antioxidante	Toledo et al., 2019

Diseño de celosía simple	Tipo de agente encapsulante	Contenido de humedad Higroscopicidad Rendimiento (%) Solubilidad Tamaño de partícula	Khalifa et al., 2019
Método de un factor a la vez .	Temperatura del aire de entrada Temperatura del aire de salida	Contenido total de polifenoles Contenido de polifenoles en la superficie Contenido de humedad Proporción de secado Eficiencia de encapsulación (%) Rendimiento (%)	Nakilcioğlu-Tas y Otles, 2019
Diseño factorial completo de 3 ²	Temperatura del aire de entrada Concentración de agente encapsulante (%)	Contenido total de polifenoles Actividad antioxidante	Daza et al., 2017
Diseño factorial 2x3x2	Tipo de agente encapsulante Temperatura del aire de entrada Proporción activo: agente encapsulante	Contenido de humedad Actividad de agua Rendimiento (%) Higroscopicidad Densidad aparente Densidad de roscado Densidad de partículas Tamaño de partículas del secado	Airouyuwa y Kaewmanee, 2019
Diseño completamente aleatorio (CRD)	Proporción agentes encapsulantes Temperatura del aire de salida	Eficiencia de encapsulación (%) Contenido total de polifenoles Actividad antioxidante Higroscopicidad Mojabilidad	Lima et al., 2019

(Elaboración propia a partir de la información de la tabla 5)

Anexo 5.

Tabla 8. Variables estudiadas en los diseños experimentales para la encapsulación de polifenoles por secado por atomización, en los últimos 5 años.

Variables independientes	Variables dependientes
Temperatura de entrada de aire	Eficiencia de encapsulación
Temperatura de salida de aire	Rendimiento
Flujo de alimentación	Actividad antioxidante
Concentración de agente encapsulante	Contenido total de polifenoles
Concentración de polifenoles	Actividad de agua
Proporción activo: agente encapsulante	Solubilidad
Proporción entre agentes encapsulantes	Higroscopicidad
Elección del tipo de agente encapsulante	Tamaño de partículas

(Elaboración propia a partir de la tabla 7).

Anexo 6.

Tabla 9. Información obtenida mediante “polyphenols microencapsulation” + “spray drying” + “in vitro digestion”, correspondiente a 13 artículos.

Fuente	Compuesto fenólico	Agente encapsulante	Método de encapsulación	Eficiencia de encapsulación	Digestión gastrointestinal <i>in vitro</i>	Efectos de la microencapsulación en la digestión	Referencia
Jugo de granada	Polifenoles (Antocianinas)	Maltodextrina Goma arábica	Spray drying	75,10%	Boca: pH 2 Estómago: Solución de pepsina Intestino: Solución de pancreatina-bilis pH: 7,5 * Polifenoles Totales	El contenido fenólico total y la actividad antioxidante de el jugo de granada microencapsulado fue medido antes y después de la acción de las enzimas digestivas usadas en la digestión <i>in vitro</i> . Los compuestos antioxidantes en las microcápsulas fueron liberados después de la digestión <i>in vitro</i> , lo que resultó en más contenido fenólico total y actividad antioxidante que en las microcápsulas sin digerir, En ambos casos el aumento fue significativo más que el 100%.	Álvarez et al., 2021
Corteza de <i>Pinus pinaster L.</i>	Polifenoles (Perfil de polifenoles)	Maltodextrina	Spray drying	Óptimo 67% (TPC)	Procedimiento estandarizado de digestión INFOGEST (pH + enzimas) *Polifenoles totales e individuales	El contenido total de polifenoles disminuyó fuertemente después de la digestión <i>in vitro</i> en comparación con LPBE o digerido. La encapsulación de LPBE con maltodextrina provocó que la degradación de los compuestos fenólicos fuera más lenta en condiciones gastro intestinales en comparación con el extracto no encapsulado (LPBE). Este estudio demuestra que los compuestos fenólicos son inestables frente a condiciones gástricas que pueden deberse a la presencia de enzimas y el pH.	Ferreira et al., 2021
Pulpa de Arazá (<i>Eugenia stipitata</i>)	Polifenoles	Maltodextrina Goma arábica	Spray drying	Nr	Boca: pH 2 Estómago: Pepsina Intestino: pH 6 sales biliares Pancreatina * Polifenoles totales	Microparticulas DP-MD (1:9) 100°C, tuvo la mayor concentración de polifenoles totales y de capacidad antioxidante luego de la digestión <i>in vitro</i> .	Iturri et al., 2021
Extracto de hoja de oliva	Secoiridoídes Oleuropeína	Inulina Maltodextrina	Spray drying	Óptimo 92.2% (MD) 81.6% (IN)	Fluido gástrico: pH2 Pepsina Fluido intestinal : pH 6 Lipasa pancreática *Polifenoles individuales	En microcápsulas de OE-MD (Aceite de oliva-Maltodextrina) y debido a la alta solubilidad de la Maltodextrina en el agua, el Aceite de oliva se liberó rápidamente y se expuso bajo condiciones gástricas adversas, lo que llevó a su degradación parcial. Por lo tanto el patrón de evolución de las microcápsulas OLE-MD fue similar al Aceite de oliva no encapsulado. Por el contrario se encontró un aumento del contenido de OE en microcápsulas de OE-IN (Aceite de oliva-Inulina). En cuanto a la digestión intestinal el contenido de OE disminuyó más drásticamente en microcápsulas de OLE-IN que en OLE-MD.	González et al., 2020
Pétalo de azafrán	Polifenoles (Perfil de polifenoles)	Maltodextrina Pectina	Spray drying Freeze drying	Spray drying 71.25 ± 0.403% Freeze drying 74.29 ± 0.279%	Boca: pH 6,8 α -amilasa Estómago: pH 1,3 pepsina y mucina Intestino: pH 8,1 Pancreatina y lipasa *Polifenoles totales	Los resultados mostraron que la liberación de compuestos fenólicos con maltodextrina como material encapsulante aumentó en condiciones de saliva simuladas. Siendo este valor mayor en liofilización que en secado por atomización. En cuanto a la simulación gástrica, esta presentó un aumento en la liberación de compuestos fenólicos para los dos métodos de encapsulación, siendo un 52% (S) y un 49% (F) más alto que en la condición de saliva simulada. En la condición simulada de intestino, las muestras que contienen mayores cantidades de pectina mostraron una mayor liberación de polifenoles y se mostró una mayor liberación en muestras secadas por aspersión en comparación con las muestras liofilizadas.	Ahmadian et al., 2019
Hibisco (<i>Hibiscus sabdariffa L.</i>)	Polifenoles (Antocianinas)	Aceite de colza Pectina HE	Emulsión doble A1/O/A2 Extrusión por goteo Spray drying	Nr	Fluido gástrico simulado: pH 1,2 Pepsina Fluido intestinal simulado: pH 7,4 Pancreatina. *Polifenoles totales y Antocianinas totales	El estudio de liberación durante la fase gástrico demostró que las muestras encapsuladas tuvieron menor liberación de antocianinas y compuestos fenólicos totales que el extracto libre. Por lo tanto la liofilización por goteo-extrusión fue eficaz para proteger las antocianinas en condiciones gastrointestinales simuladas.	Moura et al., 2019

Extracto de hoja de olivo	Secoiroides Oleuropeína	Alginato de sodio	Spray drying	Óptimo 60,8 %	Fluido gástrico: pH2 Pepsina Fluido intestinal : pH 6 Lipasa pancreática Colon: *Polifenoles individuales	La oleuropeína se degradó durante la digestión gástrica dando origen a hidroxitirosol y ORP-aglicona, mientras que sólo el ORP superficial se liberó de las microcápsulas. El resto de oleuropeína de el extracto de hojas de olivo se degradó en condiciones intestinales dando lugar a oleósidos. El alginato se desintegró liberando el 90% de oleuropeína.	González et al., 2019
Maíz azul (<i>Zea mays L.</i>)	Polifenoles (Antocianinas)	Maltodextrina (MD) Maltodextrina-Pectina (MP)	Spray drying	Nr	Estómago: Solución de pepsina pH 1,5 Intestino: Solución de pancreatina pH 6,9 *Polifenoles totales y Antocianinas totales	Ambos recubrimientos mostraron una liberación casi completa bajo digestión simulada (~95%). La mayoría de los compuestos fenólicos provenientes de MP se liberaron durante la fase intestinal, mientras que los de la matriz MD se liberaron durante la fase gástrica.	Canizales et al., 2019
Pulpa de acai Fruto de <i>Euterpe edulis Martius</i>	Polifenoles (Antocianinas)	Maltodextrina Inulina Goma arábiga	Spray drying	87,66% (IN) 87,19% (GA) 79,73% (MD)	Estómago: pH 2,0 Pepsina Intestino: pH 7,0 Pancreatina Sales biliares *Polifenoles totales y Antocianinas totales	El porcentaje de recuperación de antocianinas tras la digestión gasointestinal <i>in vitro</i> fue de 24,90% para PO, 18,71% DM, 24,67% IN, 24,67% GA, no hubo diferencia significativa entre estos resultados. Sin embargo, para el contenido fenólico GA mostró un mayor porcentaje de recuperación (44,65%) en comparación con PO (20,32%).	Bernardes et al., 2019
Orujo de uva	Polifenoles (Antocianinas)	Maltodextrina (MD) Aislado de proteína de suero (WPI) Aislado de proteína de guisante (PPI)	Spray drying	Nr	Fluido gástrico sumilado pH 1,2 Fluido intestinal simulado pH 6,8 * Polifenoles totales y Antocianinas totales	Las microcápsulas formadas con proteínas mostraron una tasa de liberación lenta. Las microcápsulas con WPI mostraron una tasa de liberación mucho más lenta en todos los casos. Las microcápsulas formuladas con MD presentaron perfiles de liberación de TAC y TPC muy similares en abas simulaciones lo que indica que la maltodextrina no tiene ningún efecto en la liberación.	Moreno et al., 2018
Granada (variedad <i>Bhagwa</i>)	Antocianina	Maltodextrina	Spray drying	82,90%	Digestión gástrica: pH 1,7 Pepsina Sales biliares Digestión intestinal: pH 7,25 * Antocianinas individuales	El estudio <i>in vitro</i> indicó que la encapsulación de la antocianina mejora la bioaccesibilidad de los fenólicos hasta cierto punto en la condición gástrica y duodenal.	Paul et al., 2018
Maqui (<i>Aristotelia chilensis</i> [Mol. Stuntz])	Antocianinas	Inulina Alginato de sodio	Spray drying	Óptimo 74,4% (IN) 45,4% (ALG)	Boca: Saliva artificial, pH 7,0 y α - amilasa. Estómago: pH 2,0 y solución de pepsina, jugo gástrico artificial. Intestino: pH 6,0, jugo intestinal artificial, pancreatina y sales biliares * Antocianinas individuales	La bioaccesibilidad de las antocianinas en las microcápsulas de MJ-IN fue de 43%, mientras que para MJ-AL el porcentaje fue de 44,1%. Un porcentaje mucho mayor al que se obtiene del jugo de máqui no encapsulado (31,1%). Este valor se puede atribuir a la alta degradación de las antocianinas en condiciones gastrointestinales. El estudio demuestra el efecto protector de la inulina y el alginato sobre las antocianinas en la simulación <i>in vitro</i> .	Fredes et al., 2018
Hipérico (<i>Hypericum perforatum</i> L.) Salvia (<i>Salvia officinalis</i> L.) Clavo de olor (<i>Syzygium aromaticum</i>)	Rutina Ácido gálico	Quitosano modificado	Spray drying	≈ 100 %	pH	Para todas las micropartículas, la liberación fue total y el tiempo de liberación varió con el agente encapsulante. En todos los casos la liberación se realizó en menos de 70 minutos. La liberación más rápida se obtuvo para las micropartículas que contenían ácido gálico y rutina, seguida de las micropartículas que contenían extractos acuosos de las plantas. Las micropartículas que se prepararon con extractos etanólicos tuvieron una liberación menor y un rendimiento de producto más pequeño en comparación con las micropartículas preparadas con extractos acuosos.	Estevinho et al., 2021

Anexo 7.

Tabla 10. Tendencias de polifenoles en alimentos, correspondiente a 28 artículos.

Micropartículas	Compuesto fenólico	Método de encapsulación	Matriz alimentaria	Objetivo de la incorporación de las micropartículas en el alimento	Resultados	Referencia
Micropartículas de extracto de baya de Saskatoon	Polifenoles	Freeze drying	Pan de trigo	Utilizaron micropartículas de extracto de bayas sobre pan de trigo, para determinar su impacto en los parámetros fisicoquímicos, el valor nutricional y la actividad biológica	Los resultados indicaron que el contenido de polifenoles incrementó en un 72% en el pan suplementado con 6% de micropartículas. Esto se vio reflejado en una mejora de las propiedades antioxidantes del pan, sobre todo para el pan con adición de micropartículas preparadas con maltodextrina.	Lachowicz et al., 2021
Micropartículas de extracto de Jabaticaba	Polifenoles	Extrusión por goteo	Galletas de almidón y yuca	Se evaluaron las propiedades bioactivas de micropartículas de extracto de Jabaticaba en galletas de almidón y yuca, y su estabilidad luego del procesamiento térmico de las galletas.	Los resultados indicaron que la microencapsulación logró preservar más del 70% del potencial antioxidante del tratamiento con 1,5% alginato + 1,0 mL de extracto, por el método ABTS después del procesamiento térmico a 180 °C. La variable volumen del extracto (mL) mostró tener mayor influencia en la respuesta del contenido de polifenoles y la eficiencia de encapsulación, la conveniencia de las variables independientes mostró que los valores de alginato de sodio 1.25% y 3.41 mL de extracto, son las mejores condiciones para la preparación de microcápsulas. Las galletas se convirtieron en productos con propiedades bioactivas que antes no tenían	Sousa et al., 2021
Micropartículas de extracto de yerba mate	Polifenoles	Spray drying Freeze drying	Mayonesa	Fenoglio et al. (2020) evaluaron la estabilidad oxidativa de la mayonesa con adición de polvo de extracto de yerba mate no encapsulado y polvo de extracto de yerba mate encapsulado con maltodextrina, ambos obtenidos mediante freeze drying y spray drying. (Polvo liofilizado (PL) y polvo secado por atomización (PS), polvo encapsulado liofilizado (PEL) y polvo encapsulado secado por atomización (PES)). La estabilidad oxidativa se midió utilizando una prueba acelerada, aumentando la presión de oxígeno (700 kPa) y la temperatura (120 °C).	La estabilidad oxidativa se expresó en unidades de tiempo (min) como la diferencia en el tiempo de oxidación de la mayonesa en presencia o ausencia del extracto de YM (control). Los resultados mostraron que PL y PS aumentaron el tiempo de oxidación de la mayonesa en 60,57 min (139,7%) y 72,29 min (138,8%) respectivamente respecto al control, mientras que la adición de PEL y PES retrasó la oxidación, aumentando el tiempo en 164,45 min (206,44%) y 257,69 (250,75%) respectivamente.	Fenoglio et al., 2020
Películas con micropartículas de polifenoles de Baya de saúco	Polifenoles	Gelificación inducida por calor	Alimentos	Se produjeron películas comestibles que incorporaron extracto de saúco, un ingrediente activo rico en polifenoles el cual se encapsuló con diferentes polímeros (quitosano modificado por carboxilación, alginato de sodio y goma arábiga) a través de gelificación inducida por calor.	Las formulaciones fueron evaluadas comparando sus propiedades en términos de eficiencia de atrapamiento de polifenoles, morfología, propiedades ópticas y comportamiento de liberación. Las películas presentaron eficiencias de atrapamiento de polifenoles entre 74 y 99,9% presentando estructuras homogéneas, las cuales fueron predominantemente transparentes, flexibles y amarillentas, con una morfología que varió con el agente de atrapamiento. La liberación de polifenoles dependió del agente encapsulante que los protegía, con una liberación más rápida para los films con goma arábiga, seguida de quitosano y finalmente con alginato de sodio. El estudio concluyó que las películas serían una buena alternativa a otros sistemas para la entrega de compuestos activos, permitiendo la sustitución de materiales plásticos para la protección de productos alimenticios.	Ribeiro et al., 2020
Micropartículas de extracto de semillas de uva rico en proantocianidinas	Proantocianidinas	Interacción electrostática	Bebidas	Las proantocianidinas (PA) son polifenoles responsables de varios beneficios para la salud, sin embargo, pueden causar una sensación de astringencia generalmente desagradable. Zhao et al., 2020 encapsularon proantocianidinas provenientes de semillas de uva con almidón oxidado (OSH) como agente encapsulante por interacción electrostática, con el fin de enmascarar la astringencia percibida de las proantocianidinas en bebidas. Para esto, determinaron umbrales de reconocimiento de astringencia humana (HART) de las muestras de agua fortificada con PA y PA-OSH utilizando el método de evaluación sensorial de media lengua con 26 panelistas capacitados	El HART del agua fortificada con PA fue de $0,77 \pm 0,23$ g/L. Los resultados mostraron que cuando se utilizó 1 g/L de OSH para la microencapsulación de proantocianidinas, los panelistas pudieron detectar sólo el sabor astringente en el agua fortificada con una concentración de $2,38 \pm 1,43$ g/L y superior, que es 3,85 veces más alta que la proantocianidina no encapsulada, lo que sugirió que la microencapsulación con OSH podría enmascarar el sabor astringente desagradable del PA en las bebidas y mantener su biodisponibilidad al mismo tiempo. El estudio concluyó que el OSH podría usarse como una nueva clase de aditivo alimentario para producir bebidas enriquecidas con polifenoles y mejorar su sabor.	Zhao et al., 2020

Micropartículas extracto de cáscara de granada	Polifenoles	Spray drying	Galletas	Se examinaron los efectos de las micropartículas sobre las galletas (efectos sobre el contenido de fenoles, la actividad antioxidante, el color y los atributos sensoriales durante el horneado y el almacenamiento)	Se observó que una gran cantidad de compuestos fenólicos se degradaba durante el horneado incluso si estaban recubiertos. Sin embargo, la encapsulación tuvo un efecto significativo ($p < 0.05$) sobre la retención y las actividades de los compuestos fenólicos en comparación con los no encapsulados. Además, los resultados mostraron que los extractos podrían incorporarse en las cookies sin afectar negativamente la calidad sensorial.	Kaderides et al., 2020
Micropartículas de extracto de orujo de granada	Polifenoles (Ácido Elálgico y ácido gálico) Perfil de polifenoles	Spray drying	Rodajas de manzana	Se enriquecieron rodajas de manzana recién cortadas con micropartículas de orujo de granada mediante impregnación al vacío y se comparó el color de éstas con rodajas de manzanas con soluciones de antioxidantes estándares como ácido gálico y ácido ascórbico. Para cada solución de impregnación, se realizó un experimento de impregnación al vacío y se controló espectrofotométricamente el pardeamiento enzimático de las rodajas de manzana recién cortadas. Después de drenar el exceso de las soluciones, las rodajas de manzana fueron analizadas inmediatamente y en dos tiempos de almacenamiento (3 y 5 días a 4°C).	Los resultados preliminares mostraron que la inmersión de micropartículas en las rodajas de manzana es capaz de mejorar el color de las manzanas, lo que corresponde a un menor pardeamiento de las mismas. Esto es importante ya que el color de las manzanas es un parámetro crítico en la aceptación de las manzanas cortadas listas para comer en el mercado.	Turrini et al., 2020
Micropartículas de extracto de brócoli	Polifenoles (Flavonoides)	Spray drying	Hamburguesas de pescado	Se prepararon hamburguesas de pescado con y sin micropartículas de extracto de brócoli (5% de extracto microencapsulado) y se determinó el contenido total de polifenoles, flavonoides y la actividad antioxidante en hamburguesas de pescado crudas y cocinadas. Los resultados se compararon con hamburguesas no fortificadas para ver el potencial saludable de las hamburguesas fortificadas.	Se determinó que la incorporación del 5% del extracto microencapsulado mejoró significativamente la concentración de los compuestos bioactivos y de la actividad antioxidante cuando se comparó con el control. Además, después de cocinar las hamburguesas tanto el contenido de flavonoides totales como la actividad antioxidante de las muestras fortificadas se redujo levemente pero no hubo variaciones significativas para el contenido de polifenoles totales en ambas muestras cocidas (1,54 mg GAE/g) y crudas (1,57 mg GAE/g). Lo que confirma que tanto el proceso como la cocción no afectaron en gran medida la estabilidad de los compuestos bioactivos extraídos. El estudio concluyó los extractos de subproductos del brócoli pueden considerarse una fuente prometedora para diseñar nuevos alimentos con interesantes propiedades saludables.	Marinelli et al., 2019
Micropartículas de extracto de nopal	Polifenoles (Flavonoides)	Emulsión doble (W1/O/W2)	Yogurt	Se elaboró yogurt fortificado con polifenoles provenientes del extracto del cactus de nopal encapsulado mediante emulsión doble. Las muestras analizadas se prepararon con 1, 10%, 20% y 30% de la emulsión múltiple. Los compuestos bioactivos, la capacidad antioxidante, el color y las bacterias del ácido láctico se analizaron en diferentes yogures a los 36 días de vida útil.	Los resultados mostraron que la incorporación de los compuestos bioactivos de cactus de nopal encapsulados por emulsión múltiple es adecuada para prevenir la pérdida de la actividad antioxidante e incrementar la vida útil del yogurt. La incorporación del extracto de nopal encapsulado por emulsión múltiple fortificará el yogurt con actividades antioxidantes y les dio un color rojo natural, además de que ayudó a mantener la viabilidad de las bacterias ácido lácticas y aumentó vida útil del yogurt.	Cenobino et al., 2019
Micropartículas de extracto de hibisco	Polifenoles (Antocianinas)	Emulsión doble A1/O/A2, seguida de gelificación iónica. Extrusión por goteo Spray drying	Caramelo de Gelatina	Se caracterizaron los caramelos de gelatina (color, contenido total de polifenoles, antocianinas y capacidad antioxidante) y se evaluó su aceptación sensorial (84 panelistas).	La aplicación de caramelos de gelatina demostró ser técnicamente factible, con una retención de hasta un 73% de compuestos bioactivos y una aceptación sensorial media del 70% de los catadores.	Moura et al., 2019
Micropartículas de extracto de hibisco	Polifenoles (Atocianinas)	Emulsión doble A1/O/A2 seguida de gelificación iónica Extrusión por goteo Spray drying	Yogurt	Se caracterizó el yogurt con micropartículas de extracto de hibisco (color, contenido total de polifenoles, antocianinas y capacidad antioxidante) y se evaluó su aceptación sensorial (80 panelistas).	Las micropartículas obtenidas por la técnica de goteo-extrusión mostraron mayor estabilidad de antocianinas (48%) y color durante la vida útil de la matriz del yogurt. La matriz de yogurt con micropartículas obtenidas por atomización presentó una alta aceptabilidad de apariencia. Las micropartículas obtenidas mediante emulsión doble seguida de gelificación iónica presentó viabilidad técnica, aportando color y funcionalidad al producto.	Moura et al., 2019
Micropartículas de extracto de piel de cereza	Antocianinas	Freeze drying	Yogurt Malvaiscos	Las micropartículas obtenidas se agregaron a yogurt y malvisco para determinar la estabilidad de los compuestos activos y la actividad antioxidante durante el almacenamiento.	En las muestras de yogurt, las antocianinas no se declararon después de 21 días. En cuanto a la actividad antioxidante esta disminuyó significativamente en las muestras de yogurt después de 21 días de almacenamiento. En las muestras de malvaiscos el contenido de antocianinas totales aumentó después de 3 y 7 días lo que sugirió su liberación desde las micropartículas. Sin embargo, la actividad antioxidante mostró una disminución después de el día 3 y 7. Ambos productos alimenticios mantuvieron el valor agregado durante el almacenamiento, en término de actividad antioxidante, por lo tanto, el resultado es prometedor para el desarrollo de complementos y productos alimenticios funcionales.	Milea et al., 2019

Micropartículas de extracto de propóleo	Polifenoles (Perfil de polifenoles)	Spray drying	Torta	Estudiar el efecto de las micropartículas en las características físicas, contenido de compuestos fenólicos, actividad antioxidante y atributos sensoriales de las tortas con adición de micropartículas en comparación con la torta control.	Hubo una reducción en el contenido total de compuestos fenólicos (<49%) y en la actividad antioxidante (<44%) de las micropartículas después del horneado, sin embargo este valor es mucho menor para el contenido total de compuestos fenólicos de la torta con el extracto sin encapsular (74%). La torta fortificada resultó en características de sabor, olor, color y textura similares a las de la torta de control.	Jansen et al., 2019
Micropartículas de extracto de orujo de cereza	Antocianinas	Freeze drying	Masa de galletas	Se investigó el uso de micropartículas de extracto de orujo de cereza, preparadas con proteína de suero y proteína de soja como agente encapsulante en las características físicas de una masa de galletas (color, textura y propiedades reológicas)	Se puede concluir que las características reológicas y de textura de la masa dependen del tipo del agente encapsulante utilizado para la encapsulación y la cantidad de harina reemplazada por encapsulados. Con la adición de encapsulados en 10% y 15%, el contenido total de polifenoles no cambió significativamente. Sin embargo, el aumento en el contenido de antocianinas fue significativo causando el cambio en el color de la masa de galleta que se volvió gris azulado, los valores de b * disminuyeron y se movieron hacia el tono azul debido a las condiciones de pH alcalino en la masa, mientras que los valores de a * aumentaron	Petrović et al., 2018
Micropartículas de extracto de pulpa de açaí	Polifenoles (Antocianinas)	Spray drying	Sistema modelo de gelatina	Se estudió el contenido de antocianinas en el sistema modelo de gelatina con adición de micropartículas de extracto de pulpa de açaí. Además se estudió el color de las muestras de gelatina en 3 días de almacenamiento.	La incorporación de micropartículas de inulina en el sistema modelo de gelatinaproporcionó una mayor protección sobre las antocianinas y presentó los mejores parámetros de color de gelatina durante todo el almacenamiento.	Bernardes et al., 2019
Micropartículas de extracto de mora	Polifenoles (Flavonoides, Antocianinas)	Freeze drying	Rebanada de cerdo picada seca	El objetivo fue evaluar el efecto de las micropartículas de polifenoles de mora MMP como un sustituto parcial de los polifenoles de mora MP en la mitigación de la degradación y oxidación de polifenoles de la rebanada de cerdo picada seca.	Los resultados mostraron que la estabilidad de los polifenoles de mora mejoran notablemente cuando son encapsulados con goma arábiga en relación núcleo: agente 1:90. La sustitución parcial de MP por MPM como antioxidante en rodajas puede mejorar eficazmente la estabilidad de los polifenoles, mientras exhibe un efecto inhibidor sinérgico sobre la oxidación de proteínas y lípidos. Después de 20 días de almacenamiento, se recuperaron al rededor de 50,63% de fenólico, 37,95% de flavonoide y 51,32% de antocianina en las rodajas elaboradas con ambos MPM y MP, estas rodajas mostraron la mejor estabilidad ante la oxidación entre todas las pruebas y una buena estabilidad del color.	Xu et al., 2019
Micropartículas de extracto de cacao	Polifenoles	Spray drying	Galleta	Se estudió la incorporación de extracto de cacao encapsulado mediante spray drying rico en polifenoles en galletas, para determinar la estabilidad de las micropartículas en el tiempo de almacenamiento (90 días) y determinar la estabilidad de los polifenoles y la actividad antioxidante después del horneado a 150°C	Las micropartículas mostraron un contenido de polifenoles totales y una actividad antioxidante estable hasta los 90 días. El contenido de polifenoles totales y la actividad antioxidante en las galletas después del horneado osciló entre 28,0 y 84,6 mg CE/g DE y entre 53,9 y 108 mg de TE/ g DE. Las micropartículas obtenidas con 100% de maltodextrina como agente encapsulante y aquellas con una relación de maltodextrina: goma arábiga de 80:20 p / p, mostraron el mayor contenido de actividad antioxidante y polifenoles totales después del horneado. Por otro lado, la galleta preparada con el extracto no encapsulado mostró las peores propiedades, evidenciando una baja estabilidad durante el horneado, mientras que la maltodextrina puede considerarse como el agente más prometedor para mejorar la estabilidad de los polifenoles al tratamiento térmico.	Papillo et al., 2019
Micropartículas de extracto de arroz negro	Polifenoles (Antocianinas Taninos)	Spray drying	Galleta	Se estudió el contenido de polifenoles totales, el contenido de antocianinas totales y la actividad antioxidante de galletas horneadas fortificadas con micropartículas de extracto de arroz negro y se compararon respecto una galleta control no fortificada.	Los resultados mostraron una reducción significativa de los compuestos fenólicos después del horneado, evidenciando así un efecto perjudicial general del tratamiento térmico. Sin embargo, considerando que los mayores porcentajes de disminución se registraron para la muestra con el extracto sin encapsular, parece razonable confirmar que los agentes de recubrimiento tienen un ligero efecto protector sobre los polifenoles durante el horneado. En particular, el contenido total de antocianinas disminuyó aproximadamente un 33% en las galletas con los extractos microencapsulados y un 49% en las galletas con el extracto sin encapsular, mientras que el contenido total de polifenoles y la Actividad antioxidante disminuyó aproximadamente un 60-70% en las micropartículas obtenidas con goma arábiga, maltodextrina y goma arábiga + maltodextrina como agentes encapsulantes frente al 80% en las muestras con extracto sin encapsular. Por lo tanto, las galletas enriquecidas mostraron un contenido significativamente superior en polifenoles, capacidad antioxidante y antocianinas respecto a la galleta control.	Papillo et al., 2018

Micropartículas de extracto de orujo de remolacha	Polifenoles	Freeze drying	Galletas de agua enriquecidas con trigo harinero, einkorn y pseudocereales	Estudiar el efecto de la adición de micropartículas de extracto de orujo de remolacha sobre las propiedades antioxidantes, el daño por calor y el color de las galletas de agua con trigo Einkorn enriquecidas con pseudocereales.	Las adiciones de orujo a las galletas de agua tuvieron un efecto positivo sobre el contenido de betacianina y modificaron el color del producto final. Los efectos sobre el contenido total de polifenoles y la capacidad antioxidante (FRAP y ABTS) + en diversas mezclas variaron. En las matrices de trigo harinero y einkorn se observó un aumento significativo, proporcional a las concentraciones de extracto de orujo. En mezclas con pseudocereales, más ricos en compuestos antioxidantes, la contribución fue evidente solo si se transmite por microencapsulación. Las galletas de agua enriquecidas con microencapsulas presentaron los mayores contenidos de betanina, isobetanina, fenoles totales y capacidad antioxidante, demostrando así el efecto protector de la microencapsulación durante el proceso de producción.	Hidalgo et al., 2018
Micropartículas de extracto de piel de cebolla morada	Polifenoles (Flavonoides)	Freeze drying	Torta	Se realizó una evaluación sensorial de la torta fortificada con polifenoles microencapsulados y se evaluó la estabilidad de los polifenoles después del horneado.	La torta integrada con las micropartículas tuvo propiedades cualitativas mejoradas (color, sabor, aroma, textura y aceptabilidad) y un mayor contenido de polifenoles que la torta integrada con el extracto sin encapsular, debido al efecto protector de encapsulación. Después del horneado, la estabilidad de los polifenoles totales fue del 51,3% lo que indica que la encapsulación tiene un fuerte efecto protector contra la degradación de los polifenoles durante el horneado.	Mahamed y Younis, 2018
Película de quitosano con micropartículas de carvacrol de extracto de semilla de uva	Carvacrol	Gelificación iónica	Salmón	Se elaboraron películas de quitosano con micropartículas de carvacrol (CMF) provenientes de extracto de semillas de uva y se probaron sus propiedades fisicoquímicas y su efecto sobre la vida útil del salmón refrigerado en tres muestras (control, película de quitosano de control y película de quitosano con micropartículas de extracto de semilla de uva y carvacrol).). Los resultados reportaron los efectos beneficiosos del CMF en muestras de salmón almacenadas a 5 ° C, especialmente manteniendo los valores de luminosidad más cercanos a los del salmón fresco y manteniendo las muestras con valores más bajos de nitrógeno básico volátil total, pH y recuentos bacterianos durante un período de tiempo más largo, y las muestras permanecieron aceptables entre el cuarto y el séptimo días de almacenamiento. El estudio concluyó que el CMF reveló un gran potencial ya que se colocó solo en la superficie superior del salmón y aun así mostró un efecto marcadamente positivo. Además, CMF también podría ser adecuado para envasar otros tipos de alimentos como la carne.	Alves et al., 2018
Micropartículas de extracto de hojas de olivo	Oleuropeína	Spray drying	Matriz de almidón	Evaluar los efectos de la incorporación de micropartículas de oleuropeína sobre la retención en una matriz de almidón cruda y cocida (horneado y hervido).	Los hallazgos mostraron que ambos métodos de cocción disminuyeron el contenido de oleuropeína. Sin embargo, la variación dependió del método de cocción. La cocción en horno generó matrices que poseen una retención de oleuropeína un 15% mayor que las que presentan los alimentos cocinados en agua hirviendo. Cuando se hornearon las matrices, el porcentaje de retención fue ~77 mg / 100 mg, significativamente más alto que cuando se utilizó ebullición (~63 mg / 100 mg). Se ha encontrado que los compuestos fenólicos, como la oleuropeína, exhiben una alta solubilidad, que podría incrementarse al elevar la temperatura (Karunaratne y Zhu, 2016); por lo tanto, al aumentar la solubilidad, también puede aumentar la movilidad de estos compuestos y la difusión del compuesto a través de la matriz.	Pacheco et al., 2018
Micropartículas de extracto de jugo de cereza, chokeberry y mora.	Polifenoles (Flavonoides)	Gelificación iónica	Postres lácteos	El objetivo fue diseñar nuevos postres lácteos con propiedades antioxidantes, para esto incorporaron jugos de diversas bayas (chokeberry, mora y cereza) puros y encapsulados con alginato. La encapsulación a base de alginato se evaluó para cada extracto proveniente de los 3 jugos como técnica adecuada para conservar la actividad antioxidante en los postres lácteos.	Los resultados indicaron que la microencapsulación de los extractos provenientes de los jugos retenía significativamente la cantidad de polifenoles en los postres lácteos no sólo en el primer día, si no también después de un periodo de almacenamiento de 20 días. Además, la actividad antioxidante más alta (523 mM TE/ 100 g, método DPPH y 510 mM TE/ 100 g método FRAP) se presentó en el postre lácteo con jugo de mora encapsulado, seguido de jugo de chokeberry y por último jugo de cereza encapsulado. En cuanto a la evaluación sensorial de los postres lácteos con adición de jugos de frutos del bosque encapsulados, esta mostró puntajes satisfactorios y en general más altos en comparación a aquellos postres con adición de jugo de frutos del bosque sin encapsular. Por lo tanto, dado a que la incorporación de ingredientes activos derivados de las bayas en los postres lácteos provocó cambios mínimos en la evaluación sensorial del producto final, el estudio concluyó que las perlas de jugo de bayas-alginato podrían aplicarse ampliamente y tener una aplicación potencial como nutracéuticos en la industria láctea.	Ivanova et al., 2018

Micropartículas de oleuropeína	Oleuropeína	Spray drying	Masas fritas de almidón-gluten	Se agregaron extractos de hojas de olivo (OLE) libre y encapsulado en matrices fritas de almidón-gluten con el objetivo de estudiar el efecto de la microencapsulación y el método de fritura (atmosférica y al vacío) sobre el contenido de polifenoles y la actividad antioxidante, además del contenido de grasa y la crocancia.	En cuanto al contenido de polifenoles totales, los resultados mostraron que las masas con micropartículas de OLE-IN tuvieron el mayor contenido de polifenoles para el método de fritura atmosférica, lo que demostraría el papel protector de la encapsulación en la degradación de los polifenoles. Sin embargo, para el método de fritura al vacío, no hubo diferencias significativas en el contenido de polifenoles entre las masas añadidas con OLE libre y encapsulado. Esto pudo deberse a que al freír al vacío las condiciones fueron más suaves con una temperatura menor y ausencia de oxígeno. Por otro lado, la actividad antioxidante para las matrices fritas al vacío y atmosférico enriquecidas con OLE y OLE-IN encapsulados mostraron que las matrices añadidas con micropartículas (OLE-IN) obtuvieron la mayor capacidad antioxidante para ambos métodos de fritura. Esto podría atribuirse a la menor degradación de los polifenoles cuando se agregan como micropartículas de OLE-IN, así como su efecto protector frente a las interacciones con otros componentes de la matriz alimentaria que pueden reducir su capacidad antioxidante.	Urzúa et al., 2017
Micropartículas de quercetina y epicatequina	Quercetina Epicatequina	Spray drying	Aceite de girasol	estudiaron la incorporación de micropartículas de quercetina (Q) y epicatequina (E) utilizando como polímero inulina (IN) con o sin adición de aislado de proteína de soja (SPI) como agentes encapsulantes mediante spray drying incorporación en aceite de girasol (SO) para evaluar su estabilidad oxidativa.	Los resultados indicaron que el período de inducción (IP) de SO, determinado en Rancimat a 60 ° C, aumentó significativamente cuando se agregaron Q-micropartículas con o sin SPI, mostrando aquellos con SPI el valor de IP más alto. En el caso de los sistemas con epicatequina, el IP de SO aumentó solo cuando se agregaron micropartículas E – In con SPI. Estos resultados sugieren que SPI puede favorecer la difusión de flavonoides al medio lipídico mediante la formación de canales hacia las micropartículas. Los estudios de oxidación adicionales en condiciones de menor disponibilidad de oxígeno dieron como resultado una oxidación más retardada en general y no se observó un efecto claro de la incorporación de SPI.	Morelo et al., 2017
Micropartículas de extracto de té verde	Catequinas	Electrospraying	Galletas	Se estudió el efecto de la adición de extracto de té verde tanto libre como encapsulado a galletas y se determinó la recuperación de las catequinas después del horneado mediante HPLC.	Los resultados mostraron que la microencapsulación no protegió significativamente a las catequinas durante el procesamiento de galletas, lo que sugiere un efecto protector deficiente de la microencapsulación. El análisis sensorial de las galletas indicó que la adición de micropartículas con extracto de té verde no afectó la aceptabilidad de las galletas por parte de los consumidores.	Gómez et al., 2017
Micropartículas de extractos de té verde y piel de naranja	Polifenoles	Emulsión doble y Coacervación compleja	Bolsa de té negro	Incorporar micropartículas de extracto de té verde y piel de naranja para preparar una bebida funcional e investigar la estabilidad de los compuestos antioxidantes y la evaluación sensorial del té.	Los resultados mostraron que la teaflavina y su relación con la tearubigina como índices de calidad para el té negro han aumentado en comparación con la muestra sin encapsulación. Este estudio dio como resultado la producción de extractos mixtos encapsulados de té verde y piel de naranja que se pueden utilizar posteriormente para la preparación de una bebida funcional.	Ghahroudi et al., 2017
Micropartículas de extracto de propóleo	Polifenoles	Spray drying	Carne de hamburguesas	El objetivo de este estudio fue evaluar la actividad antioxidante, las características físico-químicas del extracto de coproducto de propóleo microencapsulado (MPC) en un secador por atomización y sus efectos sobre la estabilidad oxidativa y la aceptabilidad sensorial de la carne de hamburguesa durante el almacenamiento.	La estabilidad oxidativa de las hamburguesas se evaluó mediante el aumento de malonaldeído (MDA Kg 1 carne) en el día de procesamiento y semanalmente durante 28 días de almacenamiento en congelación. Después de 14 días de almacenamiento, se inhibió la oxidación de lípidos debido a la adición de MPC. El MPC (0,95 mg MDA Kg 1 de carne) proporcionó mayor estabilidad lipídica que el eritorbato de sodio (1,20 mg MDA Kg 1 de carne). La carne de hamburguesa que contiene MPC mostró grados más bajos que la escala ideal en olor y sabor y cerca de los grados ideales en color, apariencia y textura. La valoración global de esta hamburguesa fue del 63,80%. El MPC tiene características interesantes y ofrece perspectivas para su uso como ingrediente natural en la carne de hamburguesa.	Soares dos Reis et al., 2017