



Economía circular: obtención y encapsulación de compuestos polifenólicos provenientes de residuos agroindustriales

Circular Economy: Obtaining and Encapsulating Polyphenolic Compounds from Agroindustrial Waste

Silvia Matiacevich, Daniela Soto Madrid y Marlen Gutiérrez Cutiño¹

Resumen

Abarcamos los principios y estrategias a nivel mundial y nacional sobre economía circular, y las posibles materias primas de compuestos polifenólicos a partir de residuos de la agroindustria chilena, finalizando con la técnica y material de pared más utilizados (secado por aspersión utilizando maltodextrina) para la encapsulación de estos compuestos antioxidantes y generar potenciales aditivos naturales, aportando así a la economía circular. Desafortunadamente, los residuos en la agroindustria chilena no son lo suficientemente aprovechados ni estudiados para encontrarles un importante valor agregado, como ocurre en otros países que cuentan con exitosas iniciativas de economía circular.

Palabras clave: desarrollo sostenible, agroindustria, residuos, economía circular.

Abstract

This work aims to resume the principles and strategies at a global and national level on the circular economy, as well as the possible raw materials of polyphenolic compounds from waste from the Chilean agroindustry, ending with the most used technique and wall material (drying spray using maltodextrin) for the encapsulation of these antioxidant compounds to generate potential natural additives, thus contributing to the circular economy. Nevertheless, waste in the Chilean agroindustry is not sufficiently exploited or studied to find significant added value, as is the case in other countries that have successful circular economy initiatives.

Keywords: sustainable development, agroindustry, waste, circular economy.

RECIBIDO: 06/01/2022 · ACEPTADO: 21/07/2022 · PUBLICADO: 01/01/2023

¹ Silvia Matiacevich: Universidad de Santiago de Chile, Santiago, Chile, ORCID 0000-0003-3797-6034, silvia.matiacevich@usach.cl; Daniela Soto Madrid: Universidad de Santiago de Chile, Santiago, Chile, ORCID 0000-0002-4701-5678, daniela.sotom@usach.cl; Marlen Gutiérrez Cutiño: Universidad de Santiago de Chile, Santiago, Chile, ORCID 0000-0001-6839-6353, marlen.gutierrez@usach.cl

Introducción

La agroindustria chilena genera alrededor de 4.6 millones de toneladas de residuos sólidos orgánicos por año, de los cuales un 75% es destinado a compostaje, producción de energía, incorporación al suelo y relleno sanitario; un 24% se deriva a alimentación animal y solo un 1% es reutilizado (Ministerio del Medio Ambiente, 2020), por lo que es imprescindible otorgar un valor agregado a los residuos orgánicos, con el fin de seguir la creciente tendencia actual de economía circular.

En Chile existe una alta producción de especies hortofrutícolas. El trigo posee la mayor superficie plantada, con 226 mil hectáreas, concentradas en las regiones del centro-sur y sur (INE, 2021). Es el primer exportador frutícola del hemisferio sur y líder exportador mundial de uva de mesa y arándanos, donde las mayores superficies plantadas son la uva con 47.800 ha y la nuez, con 36.819 ha (Domínguez, 2019). De estas superficies plantadas se puede obtener una alta producción y una amplia variedad de residuos, tales como cáscaras, restos del producto, cuescos, productos en mal estado, entre otros.

Una alternativa para otorgar valor agregado a los residuos orgánicos es fomentar la economía circular, que consiste en el aprovechamiento de recursos donde los residuos llegan a convertirse en materias primas, eliminando el descartar todo lo que se adquiere y/o se consume, existiendo reutilización y reciclaje de los mismos (Suazo, 2018). Pese a que la economía circular ya es una tendencia global, su grado de incidencia no es homogéneo a nivel mundial.

Una alternativa para otorgar valor agregado a los residuos orgánicos es fomentar la economía circular, que consiste en el aprovechamiento de recursos donde los residuos llegan a convertirse en materias primas, eliminando el descartar todo lo que se adquiere y/o se consume, existiendo reutilización y reciclaje de los mismos (Suazo, 2018). Pese a que la economía circular ya es una tendencia global, su grado de incidencia no es homogéneo a nivel mundial.

Actualmente, existen varias investigaciones acerca de la extracción y encapsulación de compuestos polifenólicos con capacidades antioxidantes presentes en diversas matrices vegetales. Sin embargo, escasas revisiones se enfocan en la encapsulación de los extractos polifenólicos obtenidos desde subproductos agroindustriales como estrategia de economía circular, empleando técnicas de extracción amigables con el ambiente, para una posterior incorporación en matrices alimentarias.

Dentro de los productos agroindustriales se encuentran las cáscaras o pieles que contienen polifenoles, siendo estos metabolitos secundarios encontrados en abundancia en todos los materiales vegetales. Destacan los ácidos hidroxicinámicos (HCA) o ácido fenólico, flavonoides (flavanoles, flavonoles, flavonona, antocianidinas, isoflavonas) y sus conjugados, chalconas y procianidinas, los que presentan actividad antioxidante con beneficios tanto para la salud como la conservación de los alimentos (Galanakis, 2018).

Sin embargo, los polifenoles se degradan y/o disminuyen su funcionalidad debido a cambios de temperatura, condiciones de proceso y de almacenamiento (Galanakis, 2018); además, algunos presentan sabores astringentes y/o amargos. Una alternativa para

protegerlos y disminuir sus desventajas es la encapsulación, ya que de esta forma pueden ser utilizados en diferentes procesos e incorporados a nuevas matrices alimentarias, como aditivos alimentarios. El proceso de encapsulación resulta ser una excelente alternativa pues permite proteger, preservar, enmascarar, entre otros beneficios, los compuestos activos de las diferentes condiciones ambientales y de procesos que los afectan, permitiendo así una buena relación de costo-efectividad (Galanakis, 2018).

El objetivo de esta revisión bibliográfica es resumir los principios y estrategias a nivel mundial y nacional sobre economía circular hasta la fecha, así como las posibles materias primas de compuestos polifenólicos a partir de residuos de la agroindustria chilena, finalizando con la técnica de la encapsulación de estos compuestos polifenólicos con capacidad antioxidante para generar potenciales aditivos naturales, aportando así a la economía circular. La metodología utilizada para esta revisión se basó en la búsqueda de trabajos científicos publicados en revistas nacionales e internacionales del área de alimentos, así como información de páginas web correspondientes a organismos públicos o privados.

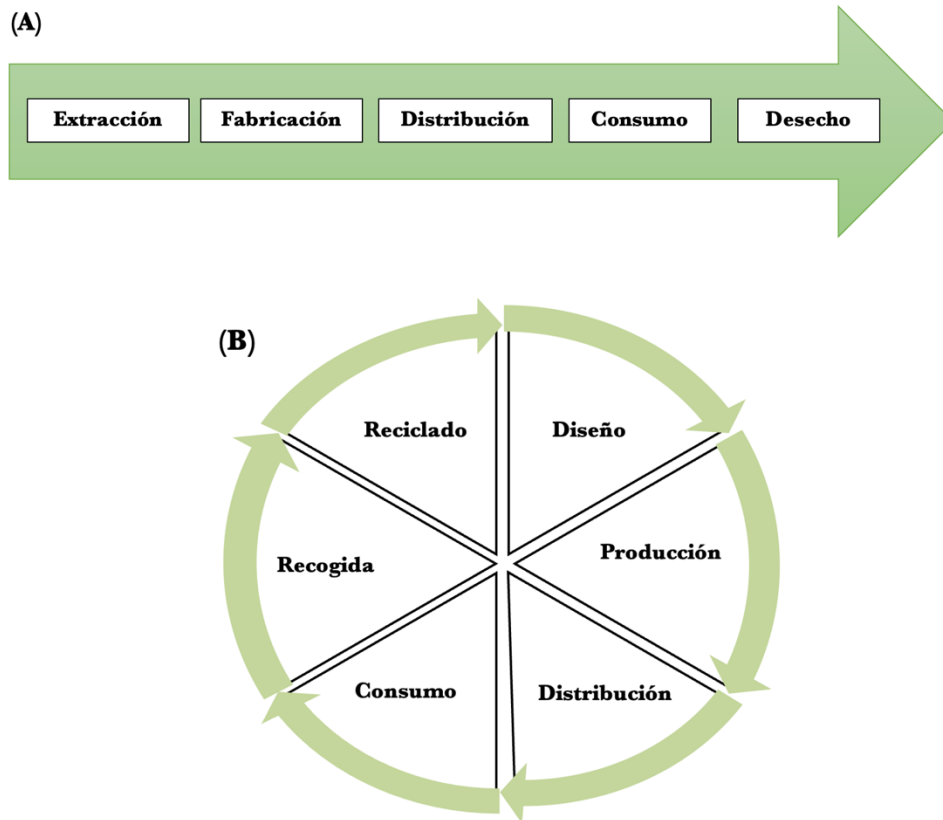
La búsqueda de artículos científicos fue realizada mediante buscadores científicos generales como Scopus, Sciencedirect y Web of Science, seleccionados mediante palabras clave en español, tales como economía circular, polifenoles, encapsulación, desechos orgánicos, agroindustria, así como sus traducciones al inglés (*waste economy, polyphenols, encapsulation, organic waste, agroindustry*). Además, ciertos datos específicos fueron buscados en las correspondientes páginas web de organismos públicos o privados.

Principios y estrategias para la economía circular

La economía lineal tradicional se basa en la producción y consumo (Figura 1a), donde se fabrican productos que son vendidos, utilizados y luego desechados; los residuos son despreciados y eliminados por incineración, destrucción o depósito en vertederos (Suazo, 2018). Ello requiere el consumo de gran cantidad de energía y de materias primas baratas y fácilmente disponibles, proceso que se ha convertido en un elemento básico del desarrollo industrial y que, entre otras consecuencias, ha provocado el crecimiento de la humanidad. Es altamente probable que estas tendencias se agraven, ya que la clase media a nivel mundial se multiplicará más del doble al año 2030, hasta alcanzar los 5.000 millones de personas (EMF, 2013). Así, la economía circular nace como una alternativa al sistema de producción lineal (Figura 1b), propuesta como la clave para dilucidar formas de abordar los problemas de manera económicamente viable y, además, para establecer nuevas dinámicas sociales y técnicas que conduzcan a una producción y un consumo responsable (Suazo, 2018).

La economía circular es, principalmente, un sistema que intenta maximizar la utilidad y el valor de los productos, componentes y materias primas utilizados en cada proceso y en cada periodo de la vida del material (EMF, 2017).

Figura 1. Etapas de (A) economía lineal y (B) economía circular
Figure 1. Steps of (A) linear economy, and (B) circular economy

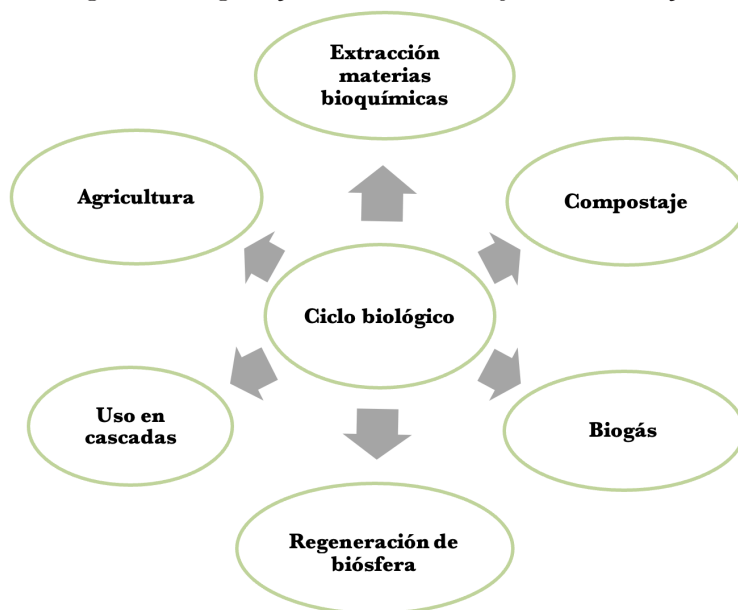


Fuente: adaptado de EMF, 2017. Source: adapted from EMF, 2017.

El sistema circular plantea dos ciclos de materiales: biológicos y técnicos. El biológico (Figura 2) engloba a los productos biodegradables que pueden reintegrarse en los ciclos ecológicos después de su uso. Dicho ciclo incluye elementos como: materia prima para extracción bioquímica, uso en cascada (uso de materiales biológicos utilizados en diversas tareas antes de perder su funcionalidad: por ejemplo el algodón, que puede ser utilizado para vestidos, luego como relleno de otros productos y finalmente como aislante de construcción), biogás, regeneración, agricultura y compostaje (Suazo, 2018). Por su parte, el ciclo técnico refiere a los compuestos no orgánicos incluidos en un producto, y que gracias a ello son reutilizados, reciclados o reparados, y contribuyen, de paso, al ahorro de recursos y de energía (EMF, 2017). Por lo tanto, los productos deben diseñarse de manera que sus materiales se puedan reelaborar y así crear nuevos productos basados en nuevas tecnologías.

Figura 2. Ciclo biológico y sus elementos de economía circular

Figure 2. Biological cycle and its elements of circular economy



Fuente: elaboración propia basada en Suazo, 2018. Source: own elaboration based on Suazo, 2018.

Este nuevo sistema, descrito por Cerdá y Khalilova (2016), se basa en tres principios, cuyo propósito es fomentar la innovación para hacerlo factible, cuyo objetivo final es minimizar el uso de materiales destinados a ser incinerados o depositados en vertederos:

Principio 1. Preservar y mejorar el capital natural: está sustentado en la predominancia de fuentes de energías renovables y la minimización del uso de materiales finitos. Cuando se necesiten recursos el sistema los elegirá sensatamente y optará por utilizar recursos renovables o tecnologías y procesos de mayor rendimiento, tanto como sea posible. También aumenta el capital natural al promover el flujo de nutrientes en el sistema y crear las condiciones para la regeneración del suelo.

Principio 2. Optimizar el rendimiento de los recursos: su objetivo es asignar productos, componentes y materiales, con el fin de alcanzar la máxima utilidad tanto en los ciclos técnicos como biológicos. El sistema circular prioriza el uso de bucles internos, es decir, destaca el mantenimiento o la reparación antes de proceder al reciclaje, para preservar así la energía incorporada y otros valores. Estos sistemas intentan extender aún más la vida útil del producto y optimizar las tasas de reutilización.

Principio 3. Promover la eficacia de los sistemas: se lleva a cabo mediante la detección y eliminación de factores externos negativos en el diseño. Incluye evitar, o al menos reducir, los posibles daños en áreas tales como: alimentación, transporte, vivienda, educación, salud y ocio, y un control adecuado de otros factores externos importantes, tales como el uso del suelo, la contaminación del aire, del agua y el ruido, el vertido de sustancias tóxicas y el cambio climático.

Estrategias de economía circular a nivel mundial

La Unión Europea contempla a la economía circular como una oportunidad para modernizar, transformar y mejorar la competitividad europea de manera sostenible. En 2015, se lanzó el Paquete de Economía Circular, que incluía algunas recomendaciones legislativas específicas para evitar que los residuos se transporten a los vertederos, promover el reciclaje de residuos y tomar diversas medidas para cerrar los ciclos de vida de productos en toda la cadena de valor (Van Buren y de Vries, 2017). La Comisión Europea (2018) adoptó el Plan de Acción de Economía Circular en 2015, que promueve la economía circular de forma multilateral. Chile participó en el debate y en el año 2018 la antigua oficina de Residuos del Ministerio del Medio Ambiente fue renombrada y es la actual Oficina de Economía Circular. Por otro lado, en Chile, la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO) también definió la promoción de iniciativas de economía circular como uno de los pilares de su gestión para el periodo 2018-2022 (UC Davis Chile y SAV+S, 2019).

Una iniciativa especialmente relevante para el sector agroalimentario es la regulación de fertilizantes formulados en base a residuos orgánicos. Dicha iniciativa representa un caso de éxito de cómo una política pública abre oportunidades de mercado para los fertilizantes orgánicos. Las nuevas regulaciones otorgan fertilizantes circulares a todos los países de la Comunidad Europea como una categoría de libre comercio (CE), lo cual evita los impuestos adicionales (Comisión Europea, 2018).

La herramienta de reciclaje de residuos y subproductos biológicos adoptada por la Unión Europea es conformada por una jerarquía de residuos que se inclina paulatinamente a priorizar medidas como la prevención, reutilización y reciclaje de residuos, y desalienta el depósito en relleno sanitarios. Por ejemplo, la inclusión de esta medida en la normativa europea ha permitido a seis estados miembros (Dinamarca, Francia, Italia, Países Bajos, Eslovenia y España) eliminar eficazmente el depósito en vertederos de los residuos municipales, reduciéndose del 90% a menos del 5% en los últimos veinte años, alcanzando tasas de reciclaje del 85% en determinadas regiones (Comisión Europea, 2014). En el caso de Holanda, para promover la circularidad del sector agroalimentario, existe un programa estratégico que establece un marco conceptual para el sector. Destaca el valor de los residuos obtenidos en los procesos industriales agrícolas para su conversión en productos de valor agregado como suero de leche, piel de fruta, pulpa, por mencionar algunos (PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, 2017).

En Latinoamérica, especialmente en Uruguay, se ha avanzado en la recopilación de información para comprender los puntos clave de la ineficiencia en el flujo de materiales y la producción de alimentos. Por ejemplo, en el Estudio de Estimación de Pérdida y Desperdicio de Alimentos, en Uruguay, estimaron las pérdidas en siete categorías de alimentos: cereales, oleaginosos, frutas y hortalizas, caña de azúcar, carnes, lácteos y pescado, las cuales representan alrededor del 90% del valor bruto de producción agropecuaria del país. El análisis se realizó mediante el estudio de la cadena de valor de cada categoría de alimentos y cada eslabón: producción, postcosecha, procesamiento, distribución y consumo (Lema *et al.*, 2017). En concreto, los tipos de iniciativas antes mencionados proporcionan puntos de referencia y evidencia diagnóstica. Además, para la redacción del proyecto de ley, Uruguay estableció un grupo de trabajo interinstitucional, con el apoyo de Naciones Unidas, para considerar elementos estratégicos para reducir la pérdida y el desperdicio de alimentos en el país (Lema *et al.*, 2017).

En tanto, en Chile, la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA) realizó un estudio en donde definieron principios y estrategias de circularidad (Figura 3), estrategias que obtuvieron a través de la asesoría de expertos internacionales sobre economía circular, y se identificaron los países con mayor avance y con iniciativas exitosas que podrían servir de referencia para Chile.

Figura 3. Estrategias de economía circular

Figure 3. Circular economy strategies

Diseñar	Integrar impacto ambiental en el desarrollo de productos y servicios.
Reducir/Prevenir	Evitar uso de recursos innecesarios y prevenir generación de residuos.
Optimizar	Maximizar la utilidad de los productos, materiales, recursos y activos.
Reusar/Redistribuir	Aprovechar productos descartados o antiguos en buenas condiciones para que cumplan su función original.
Reparar	Reparar productos defectuosos o antiguos que cumplan su función original.
Re-manufacturar	Capturar el valor de componentes de productos descartados para cumplir una función original pero en un nuevo producto.
Revalorizar	Transformar productos, partes o residuos descartados para darle una nueva función capturando el valor de dichos materiales.
Reciclar	Procesar materiales para obtener productos de igual o menor calidad.
Recuperar	Recuperación energética mediante incineración de materiales.
Regenerar	Regenerar ecosistemas naturales, promover impacto positivo al medio ambiente.
Abastecer	Procurar abastecimiento de insumos sustentables con el menor impacto medio ambiental.

Fuente: elaboración propia basada en UC Davis Chile y SAV+S (2019). Source: own elaboration based on UC Davis Chile and SAV+S (2019).

Estrategias de economía circular en Chile

Actualmente en Chile existen cinco líneas de trabajo para avanzar hacia la economía circular:

Implementación de la Ley de Responsabilidad Extendida del Productor y Fomento al Reciclaje (REP): la Ley N° 20.920 establece un marco para la gestión de residuos, la ampliación de la responsabilidad del productor y la promoción del comportamiento del reciclaje. Lo primero es tomar medidas preventivas para incentivar la reducción de la generación de residuos, luego seguir impulsando el reciclaje de los mismos en lugar de la eliminación, para que los residuos se transformen en un recurso; es decir, materias primas que se reintegren a la cadena de valor (Vivanco, 2019). Ley promulgada en mayo del 2016.

Hoja de Ruta de Economía Circular: el proceso participativo de elaboración de la hoja de ruta busca conectar actores clave, imaginar el Chile circular del futuro, consensuar los grandes cambios, las medidas de diseño que promoverán primero la transición de este nuevo paradigma económico y plantean el problema de la economía circular del país. El 11 de mayo de 2020 se inició el comité estratégico de la hoja de ruta (Ministerio del Medio Ambiente, 2020).

Fondo para el Reciclaje: es una herramienta diseñada para alentar a los productores a asumir una mayor responsabilidad, promover prácticas de gestión de residuos más sostenibles, instalar conocimientos técnicos y contar con la infraestructura adecuada para la separación y el reciclaje. El fondo se utiliza para municipios y asociaciones municipales y desde el año 2018 está implementado en el país.

Plan de Acción contra la Contaminación por Plásticos: busca disminuir la utilización del plástico y rediseñar la producción del material para que sea reutilizable y reciclable. Desde el 3 de agosto de 2018 se promulgó e implementó la Ley 21.100, la cual prohíbe la entrega de bolsas de plástico de comercio en todo el territorio nacional.

Estrategia para el Manejo de Residuos Orgánicos: busca optimizar los procesos de recolección y manejo de los residuos orgánicos para evitar que estos sean depositados en vertederos o rellenos sanitarios.

Agroindustria chilena y economía circular

En Chile, la economía circular se ha posicionado fuertemente en el sector agroalimentario, debido a que es un sector de gran relevancia en la seguridad alimentaria y nutrición de todo el mundo, y por las externalidades que conlleva, tanto por el uso de suelo, consumo de agua y generación de gases de efecto invernadero (UC Davis Chile y SAV+S, 2019).

La agroindustria chilena está dividida en cinco subsectores: cerealero, frutícola, hortícola, pecuario y vitivinícola, y cada subsector presenta diferentes iniciativas. A continuación, se mencionan ejemplos de iniciativas de economía circular de cada subsector:

Cereales. Una importante empresa nacional ha implementado un plan para distribuir los residuos orgánicos (hojas, tallos y frutas verdes) de los procesos industriales agrícolas a las plantas para producir abono (UC Davis Chile y SAV+S, 2019). Además, las cáscaras de avena pueden reutilizarse para producir energía y los subproductos de la molienda del trigo son convertibles en alimentos para mascotas. Por otro lado, ciertas prácticas agrícolas, como la siembra en seco, pueden reducir en gran medida el uso de agua (Aravena, 2020).

Vitivinícola. Empresas del sector realizan el diseño de botellas más ligeras a través de ecodiseño para reducir el uso de materiales y el impacto ambiental (Aravena, 2020). Otras medidas se basan en reducir el uso de insumos importados usando levaduras nativas; destaca la valorización de borras de vino (sedimento) para la producción de pigmentos utilizados en la industria cosmética y alimentaria, así como también la producción de ácido tartárico. Por último, se menciona la valorización de los residuos orgánicos obtenidos del proceso de prensado de la uva para la producción de compost (UCDV-SAV+S, 2019).

Pecuario. La Asociación de Sindicatos de Productores Porcinos ha desarrollado un plan de transformación tecnológica, energética y medioambiental que tiene como objetivo promover el uso de tecnología para el tratamiento del estiércol de cerdo en empresas pequeñas. Uno de los resultados de este proyecto es encontrar formas alternativas para agregar valor a los fertilizantes biológicos (Aravena, 2020).

Frutícola. Destaca el Programa Campo Limpio, de la Asociación Nacional de Fabricantes e Importadores de Productos Fitosanitarios Agrícolas, quienes gestionan el desperdicio de envases vacíos de pesticidas y fertilizantes foliares utilizados en agricultura. El programa se extiende desde Arica hasta Coyhaique a través de centros de recepción fijos y puntos móviles, y se encarga de difundir buenas prácticas en el manejo de residuos peligrosos y reciclaje de los mismos para evitar su disposición en rellenos sanitarios (Aravena, 2020), aportando así a la gestión de residuos de la industria, en este caso de envases, y a la responsabilidad del productor respecto a sus residuos.

Hortalizas. El mercado mayorista Lo Valledor definió como meta disminuir en un 50% los desechos que van a relleno sanitario al 2030, promoviendo un programa de gestión de residuos con los trabajadores y locatarios del mercado. En este contexto surgió el Programa de Residuos Orgánicos a Compostaje, que cuenta con una planta en Til-Til y que actualmente recibe un promedio de 400 toneladas mensuales de residuos orgánicos. Así, el 2019 se constituyó la Fundación Banco de Alimentos Lo Valledor, que ha dispuesto la infraestructura para el almacenamiento en frío y la logística para la distribución de alimentos, beneficiando a más de 20.000 personas (Aravena, 2020).

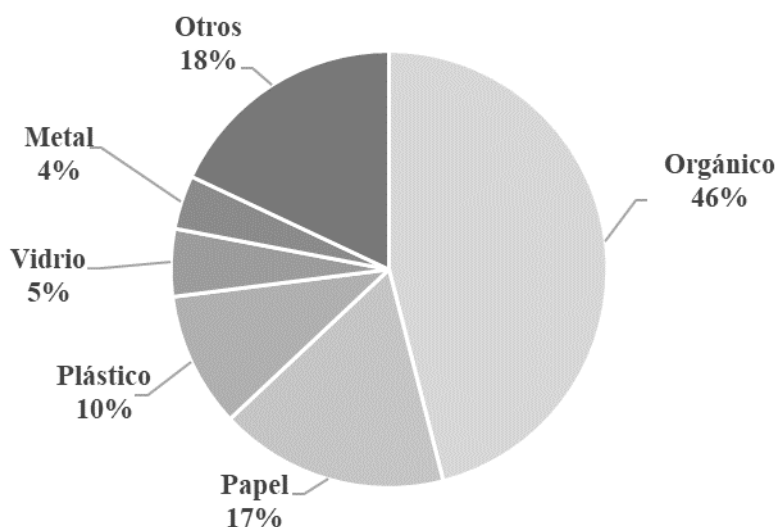
Por otro lado, oportunidades de negocio se abren con el fin de cerrar el ciclo de economía circular, utilizando residuos orgánicos de los distintos sectores donde, por ejemplo, la empresa chilena F4F (Food for the Future) es capaz de transformar 25 toneladas de desperdicios orgánicos en una tonelada de proteína proveniente de insectos, la cual es vendida como producto alimenticio para animales, entregando una solución sostenible a la agricultura y acuicultura del país (F4F, 2020).

Valorización de residuos orgánicos para la obtención de compuestos polifenólicos

Las pérdidas y desperdicios de origen vegetal son una preocupación a nivel mundial, ya que gran cantidad de cáscaras de frutas y alimentos son desperdiciados en buenas condiciones y pueden volver a utilizarse y ser consumidos. A nivel global, los residuos sólidos orgánicos representan alrededor del 46% del total de los residuos sólidos, como muestra la Figura 4 (Hoornweg y Bhada-Tata, 2012).

Figura 4. Residuos sólidos a nivel global

Figure 4. Global level of solid waste



Fuente: elaboración propia basada en Hoornweg y Bhada-Tata, 2012. Source: own elaboration based on Hoornweg y Bhada-Tata, 2012.

La agroindustria hortofrutícola chilena genera alrededor de 4,6 millones de toneladas de residuos sólidos orgánicos por año, donde solo un 1% es reutilizado (Ministerio del Medio Ambiente, 2018), lo que deja en evidencia que un mayor valor agregado se puede obtener a partir de estos residuos con el fin de seguir la tendencia creciente actual de economía circular. Estos residuos sólidos orgánicos provienen principalmente de productos vegetales, tales como trigo, maíz, papa, arroz y remolacha (Paneque *et al.*, 2011).

En Chile existe una alta producción de hortalizas y frutas (Tabla 1), entre las cuales destacan el trigo, maíz y papa. En frutales lideran la uva de mesa, nogales, manzanos, cerezos y paltos (Domínguez, 2019). Por lo tanto, a partir de estos cultivos hortofrutícolas se pueden obtener diversos residuos sólidos orgánicos como: escobajos de uva, semillas de uvas, cáscara de nuez, cáscara verde de la nuez, por mencionar algunos (Tabla 2).

Tabla 1. Superficie y cantidad de compuestos polifenólicos de diferentes productos chilenos
Table 1. Area and quantity of polyphenolic compounds of different Chilean products

Producto	Superficie plantada en Chile (ha)	Cantidad de polifenoles (mg EAG/100 g peso fresco)
Trigo	236.415	-
Maíz	89.058	57
Papa	41.268	59
Arroz	29.522	71,4
Remolacha	21.672	126
Alcachofa - fondo - hojas	1.607	96 232
Arveja	1.829	41
Espárrago	1.921	94
Pimiento - verde - rojo	1.141	101 158
Poroto verde	2.713	47
Tomate	10.564	34
Arándanos	15.707	262
Cereza	30.179	200
Manzana (roja)	28.260	213
Nuez	36.819	1592
Palta	29.166	244
Uva de mesa	47.800	944

EAG: equivalentes de ácido gálico. Fuente: elaboración propia a partir de datos de Dominguez (2019) e INTA (2013). EAG: gallic acid equivalents. Source: own elaboration from data by Dominguez (2109) and INTA (2013).

Durante el procesamiento de frutas, las cáscaras y semillas son los principales residuos generados, siendo las cáscaras una fuente de compuestos polifenólicos (Tabla 2).

Tabla 2. Capacidad antioxidante reportado para diferentes frutas cultivadas en Chile
Table 2. Antioxidant capacity reported for different fruits grown in Chile

Producto	Cantidad de polifenoles (mg EAG/100 g peso fresco)	Capacidad antioxidante (µmol ET/100 g peso seco)
Arándanos	262	21080
Cereza	200	13418
Manzana (roja)	213	15564
Nuez	1592	13332
Palta	244	19127
Uva de mesa	944	9832

EAG: equivalentes de ácido gálico; ET: equivalentes Trolox. Fuente: elaboración propia a partir de datos de Dominguez (2019) e INTA (2013). EAG: gallic acid equivalents; ET: Trolox equivalents. Source: own elaboration from data by Dominguez (2109) and INTA (2013).

En cuanto a compuestos activos, en el contenido de polifenoles totales destacan las frutas, por tener un mayor contenido de polifenoles en comparación con las hortalizas, donde sobresale la nuez con 1.592 (mg EAG/100 g pf) y la uva de mesa con 944 (mg EAG/100 g pf) (Tabla 1). Sin embargo, a pesar de que el arándano presenta una menor concentración de polifenoles con 262 (mg EAG/100 g pf), este es el fruto con mayor actividad antioxidante (Tabla 2) con 21.080 ($\mu\text{mol ET}/100 \text{ g ps}$) (INTA, 2013), lo cual está relacionado a los tipos de polifenol presentes en esta fruta (Vázquez-Castilla *et al.*, 2015).

Por tanto, los residuos que se pueden obtener de estos productos contienen una cantidad significativa de materia orgánica y compuestos polifenólicos; es necesario dar una solución adecuada, con el fin de minimizarlos y luego reciclar los materiales mediante compostaje u otro tratamiento tecnológico en lugar de desecharlos.

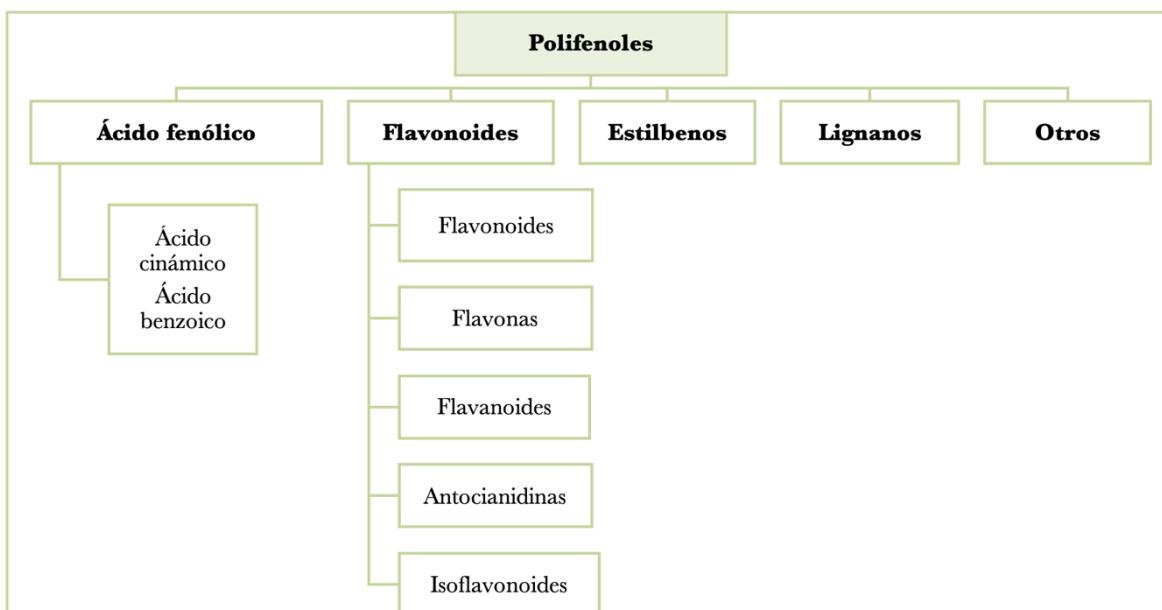
Subproductos agroindustriales como fuente de extracción de compuestos polifenólicos

Las plantas sintetizan una gran variedad de productos secundarios, entre ellos los compuestos fenólicos o polifenoles, quienes contienen mínimo un anillo aromático con un grupo hidroxilo (grupo fenol) (Galanakis, 2018).

Los compuestos polifenólicos se clasifican principalmente en ácido fenólico, estilbenos, lignanos, alcohol fenólico y flavonoides (Galanakis, 2018) (Figura 5). Al respecto, Singla *et al.* (2019) indican que se clasifican con mayor frecuencia como flavonoides y no flavonoides. Los flavonoides se clasifican a su vez en cinco familias, de acuerdo a su anillo aromático. Los no flavonoides son relativamente más pequeños y simples (ácidos fenólicos) o tienen estructuras complejas con alto peso molecular (lignano, estilbenos y otros). Entre las frutas y verduras, los ácidos fenólicos se consideran los no flavonoides más importantes (Galanakis, 2018).

Figura 5. Clasificación de los compuestos polifenólicos

Figure 5. Polyphenol compounds classification



Fuente: adaptado de Galanakis (2018). Source: adapted from Galanakis (2018).

La fuente principal de extracción de compuestos polifenólicos podrían ser las frutas (Tabla 1). Si se considera el procesamiento de las frutas, las cáscaras y semillas son los principales residuos generados, siendo las cáscaras la principal fuente de antioxidantes naturales (Tabla 3).

Tabla 3. Contenido de polifenoles reportados en diferentes tipos de residuos de la industria frutícola
Table 3. Polyphenol contents reported in different types of waste from the fruit industry

Residuo	Contenido de polifenoles (mg EAG/g)	Referencia
Escobajo de uva	22,1	Ruales-Salcedo <i>et al.</i> , 2017
Semillas de uva	6,7	Galanakis, 2018
Cáscara de arándano	285,1	Pérez <i>et al.</i> , 2018
Cáscara de nuez	93,0	Xavier, 2019
Cáscara de nuez (verde)	50,2	Carvalho <i>et al.</i> , 2010
Piel de lima	53,0	Rodsamran y Sothornvit, 2019
Piel de naranja	15,9	Barrales <i>et al.</i> , 2018
Cáscara de granada	199,4	Kaderides <i>et al.</i> , 2019
Cascarilla de cacao	13,0	Valadez-Carmona <i>et al.</i> , 2018

EAG: equivalentes de ácido gálico. Fuente: elaboración propia.
EAD: gallic acid equivalents. Source: own elaboration.

Varios autores han indicado que las cáscaras o pieles de frutas contienen compuestos polifenólicos. Destacan los ácidos hidroxicinámicos (HCA) o ácido fenólico, flavonoides (flavanoles, flavonoles, flavonona, antocianidinas, isoflavonas) y sus conjugados, chalconas y procianidinas (Galanakis, 2018). Todos presentan actividad antioxidante con beneficios para la salud y conservación de alimentos (Singla *et al.*, 2019; Galanakis, 2018).

Los polifenoles, al presentar actividad antioxidante, podrían disminuir el daño celular causado por el estrés oxidativo, jugando un rol importante en el envejecimiento celular y un papel principal en la etapa inicial de los tumores, siendo beneficiosos para la reparación del ADN dañado, la estabilidad de la membrana celular y la función inmunológica (Galanakis, 2018). A nivel tecnológico en los alimentos, los polifenoles pueden causar amargor, astringencia, color, sabor, olor y otorgar estabilidad a la oxidación de compuestos (Latorre, 2016). Lamentablemente, en la agroindustria chilena los residuos no son lo suficientemente estudiados como para ser aprovechados y otorgarles el valor agregado necesario, por ejemplo, para la obtención de polifenoles a partir de estos.

Entonces, una alternativa para otorgar valor agregado a los residuos agroindustriales es la elaboración de aditivos activos naturales basados en polifenoles extraídos a partir de estos.

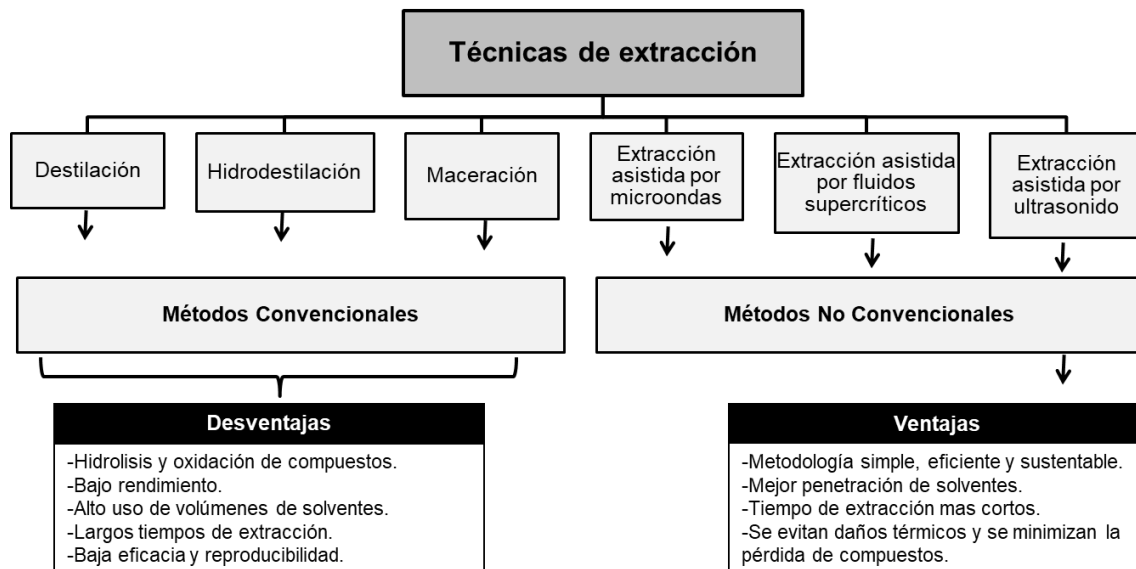
Obtención de polifenoles y métodos de extracción

Para obtener polifenoles la extracción es un paso crítico, debido a su variabilidad y complejidad en términos de solubilidad, cantidades relativas en cada muestra y estructura química, y porque no existe un método de extracción estándar para ello (Galanakis, 2018). Además, es un desafío por su inestabilidad, el proceso de extracción y factores externos (como la presencia de oxígeno y luz) que podrían afectar su actividad biológica (Picó, 2013). Entre los métodos de extracción alternativos encontramos un gran interés en la extracción asistida por microondas, fluidos supercríticos y ultrasonido. Dichos procesos se consideran amigables con el ambiente y requieren tiempos de extracción más cortos y con menores tasas de consumo de solventes que los convencionales.

Los métodos de extracción convencionales (Soxhlet, la maceración, infusión y digestión), se han utilizado por décadas. La extracción Soxhlet y maceración usan una alta relación solvente/alimento y un tiempo de extracción prolongado. Las técnicas convencionales más utilizadas corresponden a la extracción con solventes (orgánicos) sólido-líquido (SLE) y la extracción con fluidos supercríticos, aunque en ambos casos se produce la co-extracción de otros compuestos (azúcares, ácidos orgánicos y proteínas), por lo que se requieren procesos de depuración posteriores, como por ejemplo extracción en fase sólida (Galanakis, 2018). A continuación, Figura 6 resume las principales desventajas de los métodos convencionales, así como las ventajas de los no convencionales, en particular de la extracción asistida por ultrasonido (Aliaño, 2014).

Figura 6. Técnicas de extracción de compuestos polifenólicos

Figure 6. Extraction techniques of polyphenols compounds



Fuente: elaboración propia basado en Picó (2013), Guntero *et al.* (2015) y Deng *et al.* (2017).
Source: own elaboration based on Picó (2013), Guntero *et al.* (2015), and Deng *et al.* (2017).

Extracción asistida por microondas

La extracción asistida por microondas (MAE) se puede utilizar en una amplia variedad de productos vegetales. Debido a la rotación del dipolo de disolvente, alcanza energía rápidamente a un cierto volumen de disolvente y sustrato de la planta, para luego realizar un calentamiento eficiente y uniforme (Guntero *et al.*, 2015). Dado que el agua en la matriz de la planta absorbe energía de microondas, la ruptura celular es causada por un sobrecalentamiento interno que promueve la absorción de químicos en la matriz, mejorando así la recuperación de compuestos (Wang *et al.*, 2008). La desventaja de esta técnica se basa en el rango de temperatura utilizado, que puede variar según los polifenoles a extraer. Sin embargo, esta no debe ser muy alta, porque el componente activo puede degradarse, reduciendo su eficiencia (Segovia *et al.*, 2013).

Extracción asistida por ultrasonido

La extracción asistida por ultrasonido (UAE) es un procedimiento emergente, simple, eficiente y sustentable (Picó, 2013) que permite una mejor penetración de los solventes, menores tiempos y mayor rendimiento de extracción, incluso a temperaturas más bajas, en comparación con otros métodos (Deng *et al.*, 2017). Asimismo, con la UAE se pueden evitar daños térmicos al extracto y minimizar la pérdida de compuestos activos (Rodríguez y López, 2014; Wang *et al.*, 2008).

La cavitación acústica puede provocar la rotura de la pared celular, mejorando la transferencia de masa y la penetración del o los disolventes utilizados; las ventajas son una menor dependencia del uso del solvente, mayor extracción a menor temperatura, mayor velocidad de extracción y mayor rendimiento del producto. Sin embargo, el equipo utilizado para esta extracción es de mayor costo respecto a la extracción convencional, y también es posible la degradación del analito a altas frecuencias (Picó, 2013).

Entre los métodos no convencionales, la UAE representa una tecnología viable a escala industrial, al ser un proceso sencillo, eficiente y sostenible (Picó, 2013). Se evidencia que la UAE es una buena opción de proceso para extraer la máxima cantidad de compuestos activos de matrices vegetales (Tabla 4) porque aumenta la tasa de recuperación de polifenoles, pues el uso de ultrasonido facilita la ruptura de la pared celular, aumentando la penetración del solvente (Picó, 2013).

Al comparar la UAE con otros métodos no convencionales, esta presentó una mayor recuperación de polifenoles en relación a la extracción asistida por microondas (MAE) y fue más rápida (5 minutos menos). Lo anterior, se atribuyó a que UAE facilita el transporte del solvente al destruir las células por cavitación (Rodríguez y López, 2014). Además, UAE utiliza temperaturas más bajas (Deng *et al.*, 2017), pudiendo evitar daños por calor al extracto y minimizar la pérdida de compuestos activos (Rodríguez y López, 2014). Varios autores han demostrado que la extracción asistida por ultrasonido es un buen método para extraer compuestos orgánicos de diferentes sustratos (alimento, material vegetal, suelo, sedimento), pues a medida que aumenta el contacto entre sólido y solvente se hace más efectivo (a favor de penetración y transporte) y favorece la solubilidad y difusividad (Picó, 2013; Rodríguez y López, 2014; Deng *et al.*, 2017).

Tabla 4. Condiciones de proceso de técnicas no convencionales con la extracción sólido-líquido para la extracción de polifenoles de matrices vegetales

Table 4. Process conditions of unconventional techniques with solid-liquid extraction for polyphenols extractions from vegetable matrices

	UAE	MAE	SLE
Matriz vegetal	Aceitunas	Asaí	Aceitunas
Solvente	metanol	metanol	metanol
Temperatura	47 °C	100 °C	50 °C
Tiempo	30 min	35 min	4,7 h
Rendimiento	7,01 mg/g	3,8 mg/g	5,18 mg/g
Potencia	240 W	900 W	-
Fuente	Deng <i>et al.</i> , 2017	Aliaño, 2014	Deng <i>et al.</i> , 2017

UAE: extracción asistida por ultrasonido; MAE: extracción asistida por microondas; SLE: solid-liquid extraction/extracción sólido-líquido convencionales. Fuente: elaboración propia. UAE: ultrasound-assisted extraction; MAE: microwaves-assisted extraction; SLE: solid-liquid extraction. Source: own elaboration.

Encapsulación de compuestos activos polifenólicos

La estabilidad de compuestos activos es un parámetro clave para su incorporación en sistemas alimentarios, ya que los compuestos activos que promueven la salud, como las vitaminas, polifenoles, probióticos, minerales, ácidos grasos omega-3 y fitosteroles, son sensibles al oxígeno, luz, calor y agua (Đorđević *et al.*, 2015). Tales factores limitan la vida útil y la biodisponibilidad de los compuestos activos, influyendo en la calidad, aceptabilidad y estabilidad de los alimentos, pues actúan como colorantes, antioxidantes y proporcionan sabor (Đorđević *et al.*, 2015).

La industria alimentaria demanda que los ingredientes o aditivos alimentarios tengan propiedades cada vez más complejas (liberación controlada, estabilidad, protección térmica y propiedades sensoriales adecuadas), que normalmente no son posibles sin un proceso de encapsulación (Đorđević *et al.*, 2015).

La encapsulación se ha definido como la tecnología mediante la cual los compuestos activos se confinan dentro de una matriz polimérica (Đorđević *et al.*, 2015). Dicha tecnología crea un microambiente en la cápsula que puede controlar la interacción entre el interior y el exterior de la misma (Borgogna *et al.*, 2010). La encapsulación es también una fuente de nuevos aditivos con propiedades únicas, puede enmascarar o retener el aroma y sabor, reducir el apelmazamiento y la volatilidad, mejorando así su dosificación y por lo tanto, la relación costo-efectividad (Galanakis, 2018). Existen diferentes métodos de encapsulación, que se pueden dividir en dos grupos: métodos físicos y fisicoquímicos (Tabla 5).

Tabla 5. Métodos de encapsulación

Table 5. Encapsulation methods

Métodos físicos	Métodos fisicoquímicos
Secado por aspersión	Liposomas
Enfriamiento por aspersión	Coacervación
Recubrimiento por lecho fluidizado	Gelificación iónica
Extrusión	Complejos de inclusión
Co-cristalización	-

Fuente: adaptado de López Córdova (2012). Source: adapted from López Córdova (2012).

La elección del proceso de encapsulación depende de las propiedades físicas y químicas de los compuestos activos y del recubrimiento, porque la composición de los ingredientes, mecanismo de liberación, tamaño de partícula, estructura final y costo determinarán la aplicación del aditivo (Đorđević *et al.*, 2015). Para lograr una buena eficiencia de encapsulación, la formulación y las condiciones del proceso deben optimizarse, incluso si el material de encapsulación es el adecuado.

En la actualidad, los métodos más utilizados en la industria alimentaria son la extrusión y el secado por aspersión, principalmente por el costo asequible, posibilidad de escalamiento y la producción masiva.

Secado por aspersión

Es un proceso mediante el cual se atomiza un producto líquido (solución, suspensión o emulsión) en una corriente de aire caliente para obtener instantáneamente un polvo seco. La forma típica de las partículas obtenidas es esférica con un tamaño medio de 10 a 100 μm , dependiendo de las condiciones del proceso. La encapsulación mediante secado por aspersión se logra recubriendo el compuesto activo con uno o más materiales de pared, que permiten la formación de una costra o recubrimiento alrededor de una o más gotas (Anandharamkrishnan, 2015).

El secado por aspersión es una tecnología simple, flexible, rápida, de bajo costo y fácil de escalar, que puede realizar producción en masa en modo continuo, con alta eficiencia de empaque, buena estabilidad del producto terminado; fácil de controlar las características de las partículas y buena retención de compuestos volátiles (Gonçalves *et al.*, 2017).

Sin embargo, para obtener una alta eficiencia en este proceso se deben considerar las condiciones de procesamiento (tipo y concentración de encapsulante y/o material de la pared; temperatura de entrada y flujo), el tamaño y distribución de las partículas y la retención del compuesto activo (eficiencia de encapsulación), ya que la humedad del polvo resultante es fundamental para la estabilidad y actividad del compuesto polifenólico (Galanakis, 2018).

Materiales para la encapsulación mediante secado por aspersión

La selección de los materiales de pared apropiados es importante para controlar la eficiencia de encapsulación, las propiedades fisicoquímicas y la estabilidad de almacenamiento del polvo microencapsulado. Las proteínas (caseinato de sodio, proteínas de

suero, proteínas de soja, proteínas de garbanzo y gelatina) y carbohidratos (almidón modificado, goma arábica, jarabe de maíz y maltodextrina) son los materiales de pared más utilizados en la microencapsulación (Labuschagne, 2018).

La Tabla 6 muestra algunos estudios en los que se utilizaron diversos agentes encapsulantes para compuestos activos, donde se evidencia que el agente encapsulante más utilizado para llevar a cabo el secado por aspersión es la maltodextrina, un encapsulante soluble en agua pero insoluble en etanol, y que industrialmente se utiliza como agente gelificante y espesante, con un dulzor bajo y un índice glicémico alto (Hofman *et al.*, 2016). Un equivalente de dextrosa de más de 15 es ideal para encapsular vitaminas, minerales, aromas y sabores, mejorar la vida útil y aumentar el volumen del producto, entre otros factores (Hofman *et al.*, 2016). Por todos los aspectos anteriores, junto con sus características de bajo costo y digestión más lenta, es muy adecuado para utilizarlo como encapsulante.

Tabla 6. Compuestos activos (polifenoles) provenientes de productos de residuos encapsulados con diferentes agentes mediante el secado por aspersión

Table 6. Active compounds (polyphenols) from waste products encapsulated with different agents using spray drying

Compuesto encapsulado	Agente encapsulante	Referencias
Té verde (extracto)	Maltodextrina, β -ciclodextrina o mezcla	Pasrija <i>et al.</i> , 2015
Arándano (extracto de pulpa)	Maltodextrina + pectina	Baum <i>et al.</i> , 2014
Granada (extracto de cáscara)	Maltodextrina	Çam <i>et al.</i> , 2014
Procianidinas a partir de semillas de uva	Maltodextrina y goma arábica	Zhang <i>et al.</i> , 2007
Polifenoles de la yerba mate (<i>Ilex Paraguariensis</i>)	Maltodextrina	Fenoglio <i>et al.</i> , 2020

Fuente: elaboración propia. Source: own elaboration.

La encapsulación es una técnica que permite proteger compuestos activos. Los principales agentes utilizados para la encapsulación son carbohidratos, gomas y proteínas. Esta encapsulación se realiza mediante procesos físicos o físico-químicos; al elegir una de estas técnicas, es importante conocer no solo cómo se realizan, sino también sus ventajas, desventajas y aplicaciones. Aspectos importantes incluyen el costo, los diferentes tipos de agentes encapsulantes, la solubilidad de los agentes, las propiedades físicas de los materiales, entre otros. Los métodos más utilizados en el sector alimentario son la extrusión y el secado por aspersión.

Conclusiones

Las oportunidades identificadas permiten ver a la economía circular como un modelo valioso para Chile y su sector agroalimentario, a fin de promover la gestión sostenible de los recursos y contribuir a la visión de desarrollo sostenible a largo plazo. Sin embargo, esto puede verse obstaculizado por los desafíos que el sector debe afrontar para desarrollar una economía circular.

Respecto a los subproductos agroindustriales de la industria chilena, observamos que estos son una excelente fuente de extracción de compuestos polifenólicos. Mayoritariamente, dichos compuestos se encuentran en las frutas y en sus residuos, tales como cáscaras y semillas, siendo las cáscaras la principal fuente de compuestos activos.

El proceso de extracción de estos compuestos polifenólicos es un factor importante para aumentar la eficiencia del proceso. La técnica de extracción por ultrasonido ha sido la técnica más utilizada para estos efectos en los últimos tiempos, pues posee varias ventajas respecto a otras técnicas tanto convencionales como no convencionales. No obstante, la extracción puede ser un reto debido a la inestabilidad de los compuestos polifenólicos, por lo que un excelente método de extracción debe resguardar los compuestos deseados de los factores que los afectan.

De todos modos, estos compuestos fenólicos extraídos son susceptibles igualmente al medio externo (luz, pH, temperatura, etc.), por lo que la tecnología de encapsulación es una técnica que permite proteger dichos compuestos activos. Los principales agentes utilizados para la encapsulación son carbohidratos, gomas y proteínas. Algunos aspectos importantes incluyen el costo, los diferentes tipos de agentes encapsulantes, la solubilidad de los agentes, las propiedades físicas de los materiales, entre otros. La encapsulación vía secado por aspersion ha sido elegida como la más utilizada en los estudios debido a su versatilidad, bajo costo y posibilidad de escalabilidad a nivel industrial.

En Chile, el modelo de economía circular puede llegar a presentar grandes e importantes oportunidades en el sector agroindustrial, principalmente mediante la valorización de residuos, generando nuevos productos y/o subproductos a partir de ellos, el cual es un proceso gradual y requiere el compromiso y voluntad de todos los actores involucrados.¹

Agradecimientos

Las autoras agradecen el apoyo económico de DICYT Regular 081971M 2019-2021 y DICYT 5392208M_AC, 2022, VRIDEI, Universidad de Santiago de Chile. Daniela Soto Madrid agradece la beca doctoral CONICYT 2019 N° 21190731, ANID, y Marlen Gutiérrez Cutiño al proyecto AFB180001 CEDENNA 2020-2023, Universidad de Santiago de Chile.

Bibliografía

- Aliaño González, M. (2014). *Desarrollo de técnicas de extracción y análisis de polifenoles y antocianos en Açaí*. Tesis de pregrado. Cádiz, Universidad de Cádiz.
- Anandharamakrishnan, C. (2015). *Spray Drying Techniques for Food Ingredient Encapsulation*. Chicago, John Wiley & Sons. DOI <https://doi.org/10.1002/9781118863985>
- Aravena, C. (2020). "Radiografía a la economía circular en el sector agroalimentario Chileno". *UC Davis Chile Life Sciences Innovation Center*. En <https://chile.ucdavis.edu/es/news/radiografia-la-economia-circular-en-el-sector-agroalimentario-chileno> (consultado 28/10/2022).

¹ N. de la E.: al ser un Artículo de Revisión Bibliográfica, el presente texto excede la cantidad de referencias normativas regulares de *Revista RIVAR*.

- Barrales, M.; Silveira, P.; Barbosa, M.; Paulino, B.; Pastore, G.; Macedo, G. y Martínez, J. (2018). “Recovery of Phenolic Compounds from Citrus By-Products Using Pressurized Liquids — An Application to Orange Peel”. *Food Bioproducts Processing*: 112 9-21. DOI <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2018.08.006>
- Baum, M.; Schantz, M.; Leick, S.; Berg, S.; Betz, M.; Frank, K.; Rehage, H.; Schwarz, K.; Kulozik, U.; Schuchmann, H. y Richling, E. (2014). “Is the Antioxidative Effectiveness of a Bilberry Extract Influenced by Encapsulation?”. *Journal of The Science of Food and Agriculture* 94(11): 2301-2307. DOI <https://doi.org/10.1002/jsfa.6558>
- Borgogna, M.; Bellich, B.; Zorzini, L.; Lapasin, R. y Cesàro, A. (2010). “Food Microencapsulation of Bioactive Compounds: Rheological and Thermal Characterisation of Non-Conventional Gelling System”. *Food Chemistry* 122(2): 416-423. DOI <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.07.043>
- Çam, M.; İçyer, N. y Erdoğan, F. (2014). “Pomegranate Peel Phenolics: Microencapsulation, Storage Stability and Potential Ingredient for Functional Food Development”. *LWT - Food Science and Technology* 55: 117-123. DOI <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.09.011>
- Carvalho, M.; Ferreira, P.J.; Mendes, V.S.; Silva, R.; Pereira, J.A.; Jerónimo, C. y Silva, B.M. (2010). “Human Cancer Cell Antiproliferative and Antioxidant Activities of Juglans regia L”. *Food and Chemical Toxicology* 48(1): 441-447. DOI <https://doi.org/10.1016/j.fct.2009.10.043>
- Cerdá, E. y Khalilova, A. (2016). “Economía circular”. *Empresa, medio ambiente y competición* 401: 11-20.
- Comisión Europea (2018). “Circular Economy: Agreement on Commission Proposal to Boost the Use of Organic and Waste-Based Fertilisers”. *European Commission*. En https://europa.eu/rapid/press-release_IP-18-6161_en.htm (consultado 10/10/2022).
- _____. (2014). *Hacia una economía circular: un programa de cero residuos para Europa*. Bruselas, Comisión Europea. En https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:50edd1fd-01ec-11e4-831f-01aa75ed71a1.0009.02/DOC_1&format=PDF (consultado 10/10/2022).
- Deng, J.; Xu, Z.; Xiang, C.; Liu, J.; Zhou, L.; Li, T.; Yang, Z. y Ding, Z. (2017). “Comparative Evaluation of Maceration and Ultrasonic-Assisted Extraction of Phenolic Compounds from Fresh Olives”. *Ultrasonics Sonochemistry* 37: 328-334. DOI <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2017.01.023>
- Domínguez, J. (2019). “Panorama de la Agricultura Chilena”. *Oficina de Estudios de Política Agraria* 72-81.
- Dorđević, V.; Balanč, B.; Belščak-Cvitanović, A.; Lević, S.; Trifković, K.; Kalušević, A. y Nedović, V. (2015). “Trends in Encapsulation Technologies for Delivery of Food Bioactive Compounds”. *Food Engineering Reviews* 7: 452-490. DOI <https://doi.org/10.1007/s12393-014-9106-7>

- Ellen MacArthur Foundation (2017). *Cities in the Circular Economy: An Initial Exploration*. Cowes, Ellen MacArthur Foundation. En <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications/cities-in-the-circular-economy-an-initial-exploration> (consultado 10/10/2022).
- _____. (2013). *Towards a Circular Economy, an Economic and Business Rationale for an Accelerated Transition*. Cowes, Ellen MacArthur Foundation. En <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/Ellen-MacArthur-Foundation-Towards-the-Circular-Economy-vol.1.pdf> (consultado 10/10/2022).
- Fenoglio, D.; Soto Madrid, D.; Alarcón Moyano, J.; Ferrario, M.; Guerrero, S. y Matiacevich, S. (2020). “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 of Food Science and Technology* 58: 1574-1584. DOI <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04669-y>
- Food for the Future (F4F) (2020). “En F4F buscamos asegurar la alimentación del futuro”. *Food for the Future*. En <https://f4f.cl/nosotros/> (consultado 10/10/2022).
- Galanakis, C. (2018). *Polyphenols Properties, Recovery, and Applications*. Londres, Elsevier.
- Gonçalves, A.; Estevinho, B. y Rocha, F. (2017). “Design and Characterization of Controlled-Release Vitamin A Microparticles Prepared by a Spray-Drying Process”. *Powder Technology* 305: 411-417. DOI <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2016.10.010>
- Guntero, V.; Longo, M.; Ciparicci, S.; Martini, R. y Andreatta, A. (2015). “Comparación de métodos de extracción de polifenoles a partir de residuos de la industria vitivinícola”. En *Actas del CAIQ2015-VII Congreso Argentino de Ingeniería Química. 3ras. Jornadas Argentinas de Seguridad de Procesos*. Buenos Aires, 2 al 5 de octubre 2015.
- Herrero, M.; Castro-Puyana, M.; Mendiola, J. e Ibañez, E. (2013). “Compressed Fluids for the Extraction of Bioactive Compounds”. *TrAC Trends in Analytical Chemistry* 43: 67-83. DOI <https://doi.org/10.1016/j.trac.2012.12.008>
- Hofman, D.; Van Buul, V. y Brouns, F. (2016). “Nutrition, Health and Regulatory Aspects of Digestible Maltodextrins”. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 56: 2091-2100. DOI <https://doi.org/10.1080/10408398.2014.940415>
- Hoornweg, D. y Bhada-Tata, P. (2012). *What a Waste: A Global Review of Solid Waste Management*. Washington DC, Urban World Bank.
- INE (2021). *Estudio de intenciones de siembra de cultivos anuales año agrícola 2021/2022*. En https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2020/08/IntencionesSiembra2021_2022.pdf (consultado 10/10/2022).
- INTA (2013). *Portal antioxidante*. En <http://www.portalantioxidantes.com/orac-base-de-datos-actividadantioxidante-y-contenido-de-polifenoles-totales-en-frutas> (consultado 20/11/2021).

- Kaderides, K.; Papaoikonomou, L.; Serafim, M. y Goula, A. (2019). “Microwave-Assisted Extraction of Phenolics from Pomegranate Peels: Optimization, Kinetics, and Comparison with Ultrasounds Extraction”. *Engineering and Processing — Process Intensification* 137: 1-11. DOI <https://doi.org/10.1016/j.cep.2019.01.006>
- Labuschagne, P. (2018). “Impact of Wall Material Physicochemical Characteristics on the Stability of Encapsulated Phytochemicals: A Review”. *Food Research International* 107: 227-247. DOI <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.02.026>
- Latorre, L. (2016). *Polifenoles de la uva*. Tesis de pregrado. Madrid, Universidad Complutense de Madrid.
- Lema, P.; Acosta, M.; Barboza, R.; Barrios, S.; Camaño, G. y Crosa, M. (2017). *Estimación de pérdidas y desperdicio de alimentos en el Uruguay: alcance y causas*. Uruguay, FAO. En http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/FAO-countries/Uruguay/docs/INFORME_FINAL_-_Estimacion_de_p%C3%A9rdidas_y_desperdicio_de_alimentos_en_Uruguay.pdf (consultado 10/10/2022).
- López Córdoba, A.F. (2012). *Desarrollo de sistemas de encapsulación compuestos para la protección de extractos antioxidantes de yerba mate*. Tesis de magíster. La Plata, Universidad Nacional de La Plata.
- Ministerio del Medio Ambiente (2020). *Hoja de ruta para un Chile circular al 2040*. En <https://economy.circular.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2021/07/HOJA-DE-RUTA-PARA-UN-CHILE-CIRCULAR-AL-2040-ES-VERSION-COMPLETA.pdf>
- _____. (2018). “Compostaje: una tendencia para combatir el Cambio Climático”. En <https://mma.gob.cl/compostaje-una-tendencia-para-combatir-el-cambio-climatico-2/> (consultado 10/10/2022).
- Paneque, M.; Román-Figueroa, C.; Vázquez-Panizza, R.; Arriaza, J.; Morales, D. y Zulantay, M. (2011). *Bioenergía en Chile*. Santiago, FAO y Universidad de Chile.
- Pasrija, D.; Ezhilarasi, P.; Indrani, D. y Anandharamakrishnan, C. (2015). “Microencapsulation of Green Tea Polyphenols and its Effect on Incorporated Bread Quality”. *LWT-Food Science and Technology* 64(1): 289-296. DOI <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.05.054>
- PBL Netherlands Environmental Assessment Agency (2017). Food for the Circular Economy. *The Hague, PBL Netherlands Environmental Assesment Agency*. En <https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/PBL-2017-Food-for-the-circular-economy-2878.pdf> (consultado 10/10/2022).
- Picó, Y. (2013). “Ultrasound Assisted Extraction for Food and Environmental Samples”. *TrAC Trends in Analytical Chemistry* 43: 84-99. DOI <https://doi.org/10.1016/j.trac.2012.12.005>
- Pérez, C.; Tagliani, C.; Arcia, P., Cozzano, S. y Curutchet, A. (2018). “Blueberry By-Product Used as an Ingredient in the Development of Functional Cookies”. *Food Science and Technology International* 24(4): 301-308.

- Rodríguez, J. y López, M. (2014). “Ultrasound Assisted Extraction of Polyphenols from *Punica granatum* (Grenada) Fruit”. *Revista Cubana Farmacológica* 48(2): 469-476.
- Rodsamran, P. y Sothornvit, R. (2019). “Extraction of Phenolic Compounds from Lime Peel Waste Using Ultrasonic-Assisted and Microwave-Assisted Extractions”. *Food Bioscience* 28: 66-73. DOI <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2019.01.017>
- Ruales-Salcedo, A.V.; Rojas-González, A. y Cardona-Álzate, C. (2017). “Obtención de compuestos fenólicos a partir de residuos de uva Isabella (*Vitis labrusca*)”. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* 15(2): 72-79.
- Segovia Gómez, F.; Corral, J. y Almajano Pablos, M. (2013). “Estudio cinético de la extracción sólido-líquido de los compuestos polifenólicos del residuo del aguacate”. En *Jornades de recerca EUETIB*. Barcelona, EUETIB: 131-138.
- Singla, R.; Dubey, A.; Garg, A.; Sharma, R.; Fiorino, M.; Ameen, S.; Haddad, M. y Al-Hiary, M. (2019). “Natural Polyphenols: Chemical Classification, Definition of Classes, Subcategories, and Structures”. *Journal of AOAC International* 102(5): 1397-1400. DOI <https://doi.org/10.5740/jaoacint.19-0133>
- Suazo, B. (2018). *Economía circular en Chile: alcances, problemas y desafíos en la gestión de la ley REP*. Seminario de título. Santiago, Universidad de Chile.
- UC Davis Chile y SAV+S (2019). *Informe final: Estudio de economía circular en el sector agroalimentario chileno*. En <https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2019/12/EstEconomiaCircular2019.pdf> (consultado 20/10/2022).
- Valadez-Carmona, L.; Ortiz-Moreno, A.; Ceballos-Reyes, G.; Mendiola, J. e Ibañez, E. (2018). “Valorization of cacao pod husk through supercritical fluid extraction of phenolic compounds”. *Journal of Supercritical Fluids* 131: 99-105. DOI <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2017.09.011>
- Van Buren, N. y de Vries, M. (2017). “Europe Goes Circular. Outlining the Implementation of a Circular Economy in the European Area”. *EEAC. Working Group on Circular Economy*. En <http://eeac.eu/wp-content/uploads/2016/04/Europe-goes-Circular.pdf> (consultado 10/10/2022).
- Vázquez-Castilla, S.; Guillén-Bejarano, R.; Jaramillo-Carmona, S.; Jiménez-Araujo, A. y Rodríguez-Arcos, R. (2015). “Funcionalidad de distintas variedades de arándanos”. *Blueberries Magazine Consulting*. En <https://blueberriesconsulting.com/funcionalidad-de-distintas-variedades-de-arandanos/> (consultado 10/10/2022).
- Vivanco, E. (2019). “Responsabilidad Extendida del Productor: estado de avance de la Ley REP”. Valparaíso, Biblioteca Nacional del Congreso de Chile. En https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/27476/1/REP_2019_FINAL.pdf (consultado 10/10/2022).

Xavier Rodríguez, A. (2019). *Estudio de la Clossa de la Nou Pecana Fermentada*. Tesis de pregrado. Barcelona, Universitat Politècnica de Catalunya.

Wang, J.; Sun, B.; Cao, Y.; Tian, Y. y Li, X. (2008). “Optimization of Ultrasound-Assisted Extraction of Phenolic Compounds from Wheat Bran”. *Food Chemistry* 106: 804-810. DOI <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.06.062>

Zhang, L.; Mou, D.; y Du, Y. (2007). “Procyanidins: Extraction and Microencapsulation”. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 87: 2192–2197. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.2899>