

## Artículo de Revisión / Review Article

### Encapsulación de extractos antioxidantes desde sub-productos agroindustriales: una revisión

### Encapsulation of antioxidant extracts from agroindustrial by-products: a review

#### RESUMEN

Actualmente se generan grandes cantidades de sub-productos agroindustriales como residuos, aun cuando pueden ser fuente importante de variados compuestos antioxidantes. Una de las formas de aprovechar esta funcionalidad es concentrar los antioxidantes mediante la elaboración de extractos, siendo las "extracciones verdes", que usan solventes como agua o etanol, que por ser más amigables con el medio ambiente y la salud humana, han sido las más estudiadas en los últimos años. Sin embargo, uno de los principales problemas de reutilizar este tipo de compuestos bioactivos es mantener su estabilidad, debido a que luego de ser extraídos desde su matriz biológica son muy sensibles a distintas condiciones medioambientales y de almacenamiento. Una tecnología que puede reducir la inestabilidad de los compuestos antioxidantes es la encapsulación, la cual también reduce las alteraciones organolépticas que se pudieran producir cuando son incorporados en alimentos. Según nuestro conocimiento no existen revisiones de encapsulación de extractos de sub-productos agroindustriales (en donde se puede encontrar una gran variedad de compuestos antioxidantes) y la información existente se basa en compuestos antioxidantes específicos encapsulados. Por tanto, el objetivo de esta revisión fue recopilar información actualizada respecto a la encapsulación de extractos antioxidantes obtenidos a partir de sub-productos agroindustriales vegetales y su incorporación como ingredientes en alimentos.

**Palabras clave:** Alimentos funcionales; Encapsulación; Extractos antioxidantes; Sub-productos agroindustriales.

#### ABSTRACT

Currently large quantities of agro-industrial by-products are generated as waste even when they can be used as important sources of various antioxidant compounds. One of the ways to take advantage of this functionality is to concentrate antioxidants via the preparation of extracts. Due to their lower impact on the environment and human health "green extractions" using solvents such as water or alcohol have been the most studied in recent years. However, one of the main problems in re-using these bioactive

Mary Castromonte<sup>1</sup>, Jurij Wacyk<sup>2\*</sup>, Carolina Valenzuela<sup>1\*</sup>.

1. Departamento de Fomento de la Producción Animal, Facultad de Ciencias Veterinarias y Pecuarias, Universidad de Chile, La Pintana, Santiago, Chile.

2. Departamento de Producción Animal, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile, La Pintana, Santiago, Chile.

\*Dirigir correspondencia: Carolina Valenzuela. Departamento de Fomento de la Producción Animal, Facultad de Ciencias Veterinarias y Pecuarias, Universidad de Chile. Avda. Santa Rosa 11735, La Pintana, Santiago, Chile  
Email: [cvalenzuelav@u.uchile.cl](mailto:cvalenzuelav@u.uchile.cl)

\*Jurij Wacyk. Departamento de Producción Animal. Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de Chile. Av. Santa Rosa N° 11315. La Pintana, Santiago, Chile.  
Email: [jwacyk@uchile.cl](mailto:jwacyk@uchile.cl)

Este trabajo fue recibido el 20 de diciembre de 2019.  
Aceptado con modificaciones: 10 de abril de 2020.  
Aceptado para ser publicado: 05 de junio de 2020.

compounds is maintaining stability after being extracted from their biological matrix. Instability relates to different environmental and storage conditions. One technology that can reduce antioxidants instability is encapsulation, which also reduces organoleptic alterations that could occur when they are incorporated into food. To our knowledge there are no reviews of encapsulation of agroindustry by-product extracts (where a wide variety of antioxidant compounds can be found) and existing information is based on specific encapsulated antioxidant compounds. Therefore, the objective of this review was to gather up-to-date information regarding the encapsulation of antioxidant extracts obtained from vegetable agro-industrial by-products and their incorporation as ingredients in food.

*Keywords: Agroindustrial by-products; Antioxidant extracts; Encapsulation; Functional foods.*

## INTRODUCCIÓN

Los sub-productos agroindustriales de origen vegetal se consideraron durante muchos años como desechos, contándose con pocas estrategias para su reutilización, siendo su eliminación problemática y pudiendo generar contaminación del medio ambiente<sup>1</sup>. Actualmente, la urgente demanda de sostenibilidad en los sectores alimentarios y agrícolas lleva a la revalorización de este tipo de sub-productos como fuente de antioxidantes naturales<sup>2</sup>. Sin embargo, su utilización directa sin extracción es compleja, debido a su alto contenido de humedad, presencia de componentes anti-nutricionales e inadecuadas características organolépticas<sup>3</sup>. Por esto, se ha intensificado la búsqueda de métodos de extracción de los distintos tipos de antioxidantes presentes en los sub-productos agroindustriales, para su posterior implementación industrial, con métodos que sean inocuos para la salud humana, amigables con el medio ambiente y de bajo costo<sup>4</sup>.

Los compuestos antioxidantes presentes en los sub-productos agroindustriales incluyen algunas vitaminas (C, A, E); carotenoides, como carotenos y xantófilas y compuestos fenólicos, particularmente ácidos fenólicos y flavonoides, siendo un grupo de sustancias que presentan estructuras químicas y mecanismos de acción muy variados; esto último, asociado a diferentes mecanismos para inhibir o retardar ya sea captando radicales libres, uniéndose a metales pesados, absorbiendo radiación UV, entre los principales<sup>5</sup>.

Por otro lado, entre las metodologías más utilizadas para concentrar los componentes antioxidantes desde los sub-productos se puede mencionar la elaboración de extractos. Sin embargo, cuando se extraen estos compuestos desde sus matrices, éstos se vuelven susceptibles a ciertos factores ambientales como el O<sub>2</sub>, luz, pH que los hacen inestables, pudiendo degradarlos o disminuir su funcionalidad. Además, algunos antioxidantes pueden presentar sabores astringentes y/o amargos<sup>6</sup>, pudiendo interferir con procesos como el consumo de alimento si son usados en mezclas de ingredientes o insumos. Una alternativa para reducir estas desventajas es encapsularlos. La encapsulación es una tecnología de micro-empaquetamiento utilizada para recubrir variados compuestos, siendo algunas de sus ventajas, el proteger el material encapsulado de condiciones ambientales adversas, aumentando su vida útil, proteger el material encapsulado de su paso por el tracto gastrointestinal, promover una liberación controlada y enmascarar sabores desagradables, entre las más destacadas<sup>7</sup>.

Por otra parte, en la actualidad los consumidores ya no exigen alimentos que satisfagan sólo las necesidades nutricionales básicas, sino que desean alimentos con beneficios adicionales para la salud, de esta forma los extractos antioxidantes podrían usarse como un ingrediente en la elaboración de alimentos funcionales, y al estar encapsulados no perder sus propiedades antioxidantes

durante el proceso de mezcla con otros ingredientes, y almacenamiento e incluso mejorar sus características organolépticas<sup>8</sup>.

Hoy en día existe bastante información acerca de la extracción y encapsulación de compuestos antioxidantes presentes en vegetales. Sin embargo, según nuestro conocimiento no existen revisiones en la literatura enfocadas en la encapsulación de los extractos antioxidantes obtenidos desde sub-productos agroindustriales, empleando nuevas técnicas de extracción amigables con el medio ambiente y su incorporación en matrices alimenticias. Así, el objetivo de esta revisión fue recopilar información actualizada respecto a la encapsulación de extractos antioxidantes obtenidos a partir de sub-productos agroindustriales vegetales y su incorporación como ingredientes en alimentos.

## DESARROLLO

### 1. Sub-productos agroindustriales vegetales como fuente de antioxidantes

Durante la elaboración de alimentos o bebidas para consumo humano, el procesamiento de las materias primas vegetales genera considerables cantidades de sub-productos que incluyen cáscaras, piel, semillas, hojas, tallos, restos de pulpa y otras partes del vegetal<sup>9</sup>. La gran cantidad y características físicas de estos provoca serios problemas de gestión para su manejo, desde su generación hasta su disposición final; eliminarlos tiene altos costos asociados a transporte, tratamiento o disposición final, generándose focos de contaminación ambiental, ya que los residuos pueden convertirse en hábitat para vectores de enfermedades, contaminar fuentes de agua, emitir malos olores, y producir acidificación de suelos, entre otros; por otro lado, muchos de estos sub-productos, tienen el potencial de ser reutilizados<sup>1,3</sup>. El origen de estos sub-productos es variado ya que se generan después del procesamiento de vegetales para producir vino, jugos, compotas, salsas, aceites, etc<sup>10,11,12</sup>. Algunos sub-productos tienen un nombre característico, como el caso del orujo del procesamiento del vino, alperujo de la obtención del aceite de oliva y pomasa del procesamiento del tomate para salsa<sup>11,13,14</sup>. A otros se les denomina de igual forma que la parte de donde provienen (cáscara, piel, semillas, etc.)<sup>15</sup>. El rendimiento de los sub-productos agroindustriales también es variable, ya que por ejemplo, el orujo de uva representa el 20% del peso original de la uva utilizada para producir vino; en este proceso, sólo una pequeña parte de los fitoquímicos se transfiere al vino, mientras que grandes cantidades permanecen en el orujo<sup>11,16</sup>. En la elaboración de jugos de frutas, los residuos representan el 25-40% de la masa seca de las frutas<sup>17,18</sup>. Para el caso de la pomasa de tomate, ésta representa alrededor del 4% del peso del vegetal<sup>14</sup>.

En la tabla 1<sup>15,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26,27,28,29,30,31</sup>, se mencionan los principales compuestos bioactivos con actividad antioxidante presentes en distintos sub-productos vegetales, los cuales varían dependiendo de la materia prima de donde provengan, siendo los ácidos fenólicos y flavonoides

los predominantes; por ejemplo en sub-productos de carambola, granada, cebolla, arándanos y betarraga, se encuentran presentes el ácido gálico y elálgico, los cuales pertenecen a los ácidos hidroxibenzoicos<sup>17,18,19,22,27,28</sup>, y en sub-productos provenientes de palta y aceituna los ácidos fenólicos predominantes son del tipo hidroxicinámicos<sup>15,26</sup>. Los flavonoides que se encuentran con mayor frecuencia son catequinas, presentes en sub-productos de palta, uva, manzana, betarraga y zanahoria<sup>15,18,19,20,21,30</sup> y antocianinas en sub-productos de uva, arándanos y acerola<sup>20,22,29</sup>. En algunos de estos sub-productos también están presentes taninos, vitaminas, carotenos, pigmentos y otros. En los últimos años se han publicado diversos estudios que

señalan que los compuestos bioactivos naturales extraídos de los vegetales son beneficiosos para la salud humana ya que poseen actividad antioxidante, tienen propiedades anticancerígenas, cardioprotectoras, antimicrobianas y antiinflamatorias<sup>10,23,32,33</sup>. Por esto la extracción de este tipo de compuesto en conjunto con el concepto de economía circular, es un “hot topic” en la actualidad.

## 2 Extracción de compuestos bioactivos antioxidantes desde sub-productos agroindustriales vegetales

La reutilización de sub-productos vegetales en su forma húmeda presenta varias desventajas, ya que la incorporación y homogenización con otros ingredientes es compleja, su

**Tabla 1.** Principales compuestos antioxidantes presentes en sub-productos de origen vegetal.

| Autor   | Vegetal   | Proceso agroindustrial | Sub-producto        | Compuesto bioactivo antioxidante  |
|---------|-----------|------------------------|---------------------|---|
| [15]    | Palta     | Pulpa                  | Cáscaras y semillas | Catequinas, procianidinas y taninos condensados.  |
| [17]    | Carambola | Jugo                   | Orujo               | Ácido L-ascórbico, epicatequina, formas de ácido gálico y proantocianidinas.                              |
| [18-19] | Betarraga | Azúcar                 | Pomasa              | Betalainas, catequina, epicatequina, ferúlico, protocatúxico, vanílico, p-cumárico y p-hidroxibenzoico    |
| [20]    | Uva       | Vino                   | Orujo               | Quercetina, kaempferol, miricetina, catequinas, epicatequinas, antocianinas, resveratrol.                 |
| [21]    | Manzana   | Jugo                   | Pomasa              | Procianidinas, flavonoles, dihidrochalconas, ácidos hidroxicinámicos, catequinas.                         |
| [22]    | Arándano  | Jugo                   | Orujo               | Antocianinas, flavonoles, flavan-3-ols, estilbenos, procianidinas, taninos, vitaminas y ácidos fenólicos. |
| [23]    | Naranja   | Jugo                   | Cáscaras            | Flavonoides, ácidos fenólicos y terpenos como el D –limoneno.   |
| [24-25] | Tomate    | Salsa                  | Pomasa              | Licopeno, beta-carotenos, ácidos fenólicos, flavonoides.  |
| [26]    | Aceituna  | Aceite                 | Alperujo            | Oleuropeína, hidroxitirosol, pirogalol, catecol, ácido elálgico y benzoico.                               |
| [27]    | Granada   | Jugo                   | Cáscaras y semillas | Ácido elálgico, flavonoides (quercetina, kaempferol) y punicalagina.                                      |
| [28]    | Cebolla   | Deshidratados          | Escamas             | Quercetina, kaempferol, miricetina, ácido naringénico, ácido ferúlico, ácido elálgico.                    |
| [29]    | Acerola   | Jugo                   | Orujo               | Ácido clorogénico, antocianinas, flavonoides, carotenoides.   |
| [30]    | Zanahoria | Jugo                   | Orujo               | Compuestos fenólicos (ácido clorogénico, ácido cafeico, catequina y epicatequina) y carotenoides.         |
| [31]    | Papa      | Snacks, congelados     | Piel                | Ácidos fenólicos (ácido clorogénico y ácido cafeico), flavonoides.  |

almacenamiento es difícil debido al alto nivel de humedad que poseen favoreciéndose la proliferación de hongos y la generación de micotoxinas, además de elevarse los costos de su transporte<sup>3</sup>. Es así que su uso en formatos sin procesar se ha destinado principalmente a la alimentación de animales rumiantes y producción de biocombustibles<sup>34,35</sup>. Por otro lado, la generación de harinas a partir de sub-productos agroindustriales mediante procesos de secado, se ha estudiado para su aplicación en alimentación, principalmente para animales monogástricos y humanos. Una de las desventajas de las harinas de sub-productos agroindustriales vegetales es su alto contenido de fibra cruda (20-70%), y dependiendo de la matriz, pueden poseer alto contenido de compuestos anti-nutricionales, generando un efecto de dilución de los compuestos antioxidantes<sup>36</sup>. Por esta razón, la tendencia actual es elaborar extractos que permiten concentrar los compuestos antioxidantes en base a tecnologías de extracción “verde”, que son procesos más amigables con el medio ambiente e inocuos<sup>24</sup>.

La extracción sólido-líquido es una de las técnicas consideradas como convencionales para extraer los componentes antioxidantes desde los sub-productos agroindustriales, siendo un proceso donde el compuesto bioactivo de interés se transfiere desde su matriz sólida hasta una fase líquida<sup>19,37</sup>. Actualmente, los solventes más utilizados para este tipo de extracción son los denominados “verdes” (agua, etanol y sus mezclas), como alternativa a los solventes orgánicos convencionales (acetona, hexano, cloroformo, otros), debido a su baja toxicidad, producción sostenible, menores costos y efectos negativos para la salud humana<sup>24</sup>. Dentro de las técnicas no convencionales, una de las más empleadas es la extracción asistida por ultrasonido, la cual genera ondas ultrasónicas, produciendo un efecto de cavitación, lo que resulta en una mayor penetración del solvente en la matriz del sub-producto, acelerando la liberación de los compuestos<sup>22,24</sup>, con esta técnica se obtienen mejores rendimientos comparado con las convencionales<sup>22,23</sup>. En este grupo también se encuentra la extracción con fluidos supercríticos que utiliza solventes como el CO<sub>2</sub>, obteniéndose extractos libres de residuos tóxicos<sup>38</sup>.

Independiente del proceso, para optimizar la extracción de compuestos bioactivos en general se modifican parámetros tales como tipo y proporción del solvente, temperatura y tiempos de extracción<sup>18</sup>. En cuanto a la temperatura se sabe que es un factor determinante, ya que muchos compuestos bioactivos son susceptibles a temperaturas elevadas, indicando algunas investigaciones que el valor óptimo para la extracción de antioxidantes como licopeno y compuestos fenólicos fluctúa entre 40-60 °C<sup>24,39</sup>. Con respecto al tiempo de extracción se han encontrado distintos valores, los cuales están en relación con la técnica utilizada y el compuesto de interés, con un rango entre 7 y 60 min<sup>18,21</sup>. En este sentido, Pintac et al<sup>20</sup> elaboró extractos de orujo de uva mediante la técnica de extracción sólido-líquido, utilizando distintos solventes, obteniendo como resultado que el metanol al 80% fue el mejor solvente, ya que proporcionó un mayor

rendimiento de todos los polifenoles a escala industrial. Esta misma técnica fue empleada por Kushwaha et al<sup>18</sup> para elaborar extractos a partir de subproductos de betarraga, utilizando agua destilada como disolvente, obteniendo buenos resultados. Pingret et al<sup>39</sup> extrajo compuestos bioactivos desde la pomasa de manzana mediante ultrasonido, empleando agua destilada como solvente, demostrando que el contenido total de ácidos fenólicos era un 30% más alto que el obtenido por extracción convencional. Esta misma técnica fue utilizada por Wang et al<sup>21</sup> para obtener extractos antioxidantes de sub-productos de manzana, con la diferencia que empleó como solvente mezclas de etanol/agua, logrando la mayor eficiencia de extracción de polifenoles a los 30 min y con 50% de etanol. Benelli et al<sup>23</sup> realizó un estudio en donde comparó distintos métodos y solventes para extraer compuestos bioactivos antioxidantes a partir de orujo de naranja y observó que la extracción mediante fluidos supercríticos obtuvo mejores resultados en cuanto a capacidad antioxidante y concentración de fenóles totales, respecto a otros métodos como soxhlet, ultrasonido e hidrodestilación.

Luego de la obtención de los extractos, el paso siguiente es su caracterización, que se basa principalmente en determinar la capacidad antioxidante por métodos como “Oxygen Radical Absorbance Capacity” (ORAC), estabilidad del radical 1,1-difenil-2-picrilhidrazil (DPPH), eliminación del radical 2,2-azinobis-3-etilbenzotiazolina-6-sulfonato (ABTS), u otros; análisis de los compuestos antioxidantes contenidos en los extractos (fenoles, flavonoides, antocianinas, betalainas) por diferentes técnicas, siendo las más usadas “high-performance liquid chromatography” (HPLC) y cromatografía; cuantificar el rendimiento de extracción y determinar las características físico-químicas de los extractos, como color, pH, u otras<sup>19,23,37</sup>.

### 3 Encapsulación de extractos antioxidantes

La tecnología de encapsulación consiste en cubrir un determinado principio activo (en este caso los extractos antioxidantes) con un material de recubrimiento o matriz<sup>7,40</sup>. Se ha descrito que la encapsulación de extractos antioxidantes brinda protección a los compuestos bioactivos frente a condiciones desfavorables, ya sea medioambientales (oxígeno, luz, agua, entre otros), del tracto gastrointestinal (pH, enzimas), del procesamiento de los alimentos (temperatura, humedad), o del almacenamiento<sup>41,42,43</sup>. Otra ventaja es enmascarar el sabor desagradable propio de algunos compuestos antioxidantes y mejorar la palatabilidad de las matrices alimentarias en donde se incorporan<sup>11,44,45</sup>. Como también dirigir la liberación del material encapsulado a un lugar específico y de forma controlada en el tiempo<sup>7</sup>. También es posible encapsular dos o más compuestos que puedan ejercer un efecto sinérgico potenciando su bioactividad, y usar más de un método de encapsulación para aumentar aún más la protección del compuesto bioactivo encapsulado, siendo este método conocido como co-encapsulación<sup>46</sup>.

Existen muchas técnicas para encapsular extractos

antioxidantes y a continuación se describen las más comúnmente usadas. El secado por atomización es un tipo de evaporación rápida, lograda por el paso de la muestra líquida por boquillas en donde para aire caliente a alta presión. Esta es la técnica más utilizada debido a que este proceso es considerado de bajo costo, simple y con mayores aplicaciones industriales<sup>44</sup>. Mediante esta técnica se generan nano y micropartículas y es posible cambiar la forma física del producto original de estado líquido a sólido, lo cual es un atributo muy importante en la industria de alimentos, porque permite adicionar el producto encapsulado en una gran variedad de matrices alimentarias<sup>47</sup>.

El secado por congelación o liofilización consiste en deshidratar la muestra sometiendo a una rápida congelación y posteriormente un ligero calentamiento al vacío que lo transforma en vapor. Es otra técnica de uso común, que tiene la ventaja de no aplicar calor a la muestra, obteniendo productos en formato de polvo, sin embargo, esta técnica es más costosa que la anterior<sup>48</sup>.

Las micro o nano emulsiones son formulaciones en base de agua con gotas emulsionadas de muy pequeño tamaño (nano o micro), termodinámicamente estables, que no presentan separación de fases. Esta técnica ha sido bastante utilizada para encapsular extractos antioxidantes de carácter lipofílico<sup>49</sup>, obteniendo suspensiones que pueden ser incorporadas en matrices alimenticias, y que a su vez pueden también ser secadas por atomización y/o liofilización<sup>41,50</sup>. Otras técnicas que también se han utilizado para encapsular antioxidantes son la gelación iónica, la que consiste en suspender el principio activo a encapsular en una solución acuosa de alginato de sodio, la que se gotea sobre una solución de cationes. Al entrar la gota de alginato de sodio en contacto con el catión, se produce la gelificación instantánea de la misma, obteniéndose una membrana de alginato cálcico que es insoluble en agua pero permeable<sup>28</sup>. También se ha usado el entrapamiento en liposomas, que son vesículas lipídicas compuesta de una doble capa de fosfolípidos, con secciones hidrosolubles y liposolubles, formadas por técnicas como evaporación del solvente por ejemplo<sup>51</sup>.

La elección del material encapsulante depende del tipo de compuesto bioactivo a encapsular, sus características físico-químicas, su costo y propósito de uso. Según Labuschagne<sup>52</sup>, el material más utilizado para la encapsulación de antioxidantes de origen vegetal ha sido la maltodextrina (29%), seguida de goma arábiga (20%). La maltodextrina es un polisacárido higroscópico, derivado de la hidrólisis del almidón, incoloro en soluciones acuosas, soluble en agua, de baja viscosidad y de bajo costo, por lo cual es muy utilizada en la industria alimentaria y es compatible con la técnica de secado por atomización y la liofilización<sup>53</sup>. Por otro lado, la goma arábiga posee una combinación de características favorables asociadas a su capacidad de formación de película, ser hidrosoluble, tener baja viscosidad, mostrar buena retención de componentes volátiles y propiedades emulsionantes, siendo su principal desventaja su alto costo y disponibilidad limitada, por esto se suele combinar con maltodextrina y también es compatible con el secado por atomización y la liofilización<sup>44</sup>. El alginato, otro

material muy utilizado para encapsular extractos antioxidantes, es un polisacárido proveniente desde las algas pardas, que se caracteriza por ser indigerible por humanos y animales monogástricos, poseer buenas propiedades coloidales y de formación de gel, formar películas, micropartículas y microesferas, y tiene la destacada característica de liberar su contenido en intestino delgado de forma controlada, se emplea principalmente en la gelación iónica, atomización y liofilización<sup>54</sup>. La carboximetilcelulosa es un polisacárido derivado de la celulosa ampliamente utilizado en la industria alimentaria, pero es de elevado costo, se ha utilizado en técnicas de secado por atomización<sup>11</sup>. El quitosano es un polisacárido, derivado de la quitina, con excelentes propiedades como agente encapsulante, que es indigerible y es bastante usado con estos fines, se ha empleado en técnicas como gelación iónica y emulsiones<sup>55</sup>.

En la tabla 2 se resumen los resultados de diversas investigaciones sobre la encapsulación de extractos antioxidantes provenientes de sub-productos agroindustriales, siendo uno de los resultados más relevantes la mejora en la estabilidad al almacenamiento de los extractos encapsulados. Waterhouse et al<sup>42</sup> encapsuló extractos de residuos de arándano donde la utilización de alginato como recubrimiento obtuvo mejor estabilidad que las muestras encapsuladas con inulina. También en algunos estudios se demostró que la encapsulación mejora las propiedades organolépticas de los extractos antioxidantes, por ejemplo, para el caso de extractos de orujo de uva, ya que su encapsulación con maltodextrina y carboximetilcelulosa redujo la astringencia característica de este sub-producto y los panelistas describieron un menor amargor<sup>11</sup>.

La literatura disponible indica que las características físico-químicas de las micropartículas como el contenido de compuestos bioactivos, capacidad antioxidante, eficiencia de encapsulación, rendimiento del proceso, liberación, tamaño, color, etc., dependen de la técnica de encapsulación, el tipo y proporciones del material encapsulante y las condiciones de encapsulación, entre otras. Por ejemplo, Rezende et al<sup>29</sup> encapsuló extractos de residuos de acerola comparando dos técnicas, obteniendo mejores características para las micropartículas atomizadas ya que obtuvieron concentraciones más altas de compuestos fenólicos y actividad antioxidante; con un bajo contenido de humedad, higroscopicidad y tamaño de partícula respecto de las micropartículas liofilizadas. En otra investigación. Waterhouse et al<sup>42</sup> indicó que las micropartículas encapsuladas con alginato obtuvieron mejor resultado comparado con las encapsuladas con inulina en cuanto al rendimiento (72,1%) y concentración de fenoles totales (30,32 mg GAE/g). Con respecto a las proporciones Cilek et al<sup>48</sup> describió que las micropartículas de extractos de orujo de guinda (EOG) con relación entre EOG: recubrimiento de 1:20 mostraban tamaños de partículas más pequeños y mayores eficiencias de encapsulación (78–92%), en comparación con la relación de 1:10, posiblemente porque al aumentar la concentración de material de recubrimiento, aumenta la viscosidad y se dificulta la difusión del principio activo a la superficie de la micropartícula.

**Tabla 2.** Ejemplos de extractos antioxidantes obtenidos desde sub-productos agroindustriales encapsulados. CMC: carboximetilcelulosa, GA: goma arábiga, MD: maltodextrina.

| Autor | Fuente               | Tipo de extracción              | Técnica de encapsulación              | Material encapsulante              | Resultados obtenidos  |
|-------|----------------------|---------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|---|
| [41]  | Pomasa de tomate     | Dióxido de carbono supercrítico | Emulsión                              | Gelatina y ácido poliglutámico     | Tamaño de partícula promedio de 38,7 $\mu\text{m}$ . Liberación controlada de licopeno que aumenta a pH 5,5 y 7,0. Mayor estabilidad térmica.   |
| [11]  | Orujo de uva         | Hidroalcohólica                 | Secado por atomización                | MD con CMC                         | Mayor estabilidad al almacenamiento y altas eficiencias de encapsulación. Rendimientos bajos (7,7%).  |
| [17]  | Orujo de carambola   | Hidroalcohólica                 | Secado por atomización/ liofilización | MD                                 | Mayor eficiencia de encapsulación en muestras liofilizadas. Simulación gastrointestinal in vitro mostró mayor liberación de compuestos fenólicos en el fluido gástrico a pH 1.                |
| [42]  | Residuos de arándano | Acuosa                          | Secado por atomización                | Alginato e inulina                 | El alginato obtuvo mejor rendimiento (72,1%) concentración de fenoles totales (30,32 mg GAE/g) y estabilidad al almacenamiento.   |
| [29]  | Residuos de acerola  | Hidroalcohólica                 | Secado por atomización/ liofilización | MD y GA                            | Actividad antioxidante más alta, bajo contenido de humedad, menor tamaño de partícula y mejores características morfológicas con secado por atomización.                                      |
| [56]  | Piel de uva          | Hidroalcohólica                 | Secado por atomización                | MD, GA y leche en polvo descremada | Altos rendimientos, liberación prolongada de antocianinas y compuestos fenólicos en diferentes medios, micropartículas no porosas y esféricas con MD y GA.                                    |
| [57]  | Alperujo de aceituna | Hidroalcohólica                 | Secado por atomización                | MD                                 | Partículas esféricas con superficie lisa, diámetro promedio de 5 a 25 $\mu\text{m}$ . Alta recuperación de polifenoles, notable actividad antioxidante y buena estabilidad al almacenamiento. |
| [58]  | Orujo de uva         | Hidroalcohólica                 | Secado por atomización                | Mezclas de MD y GA                 | Las microcápsulas más eficientes se obtuvieron con una relación 8:2 de MD:GA a una temperatura de entrada de 140°C.   |

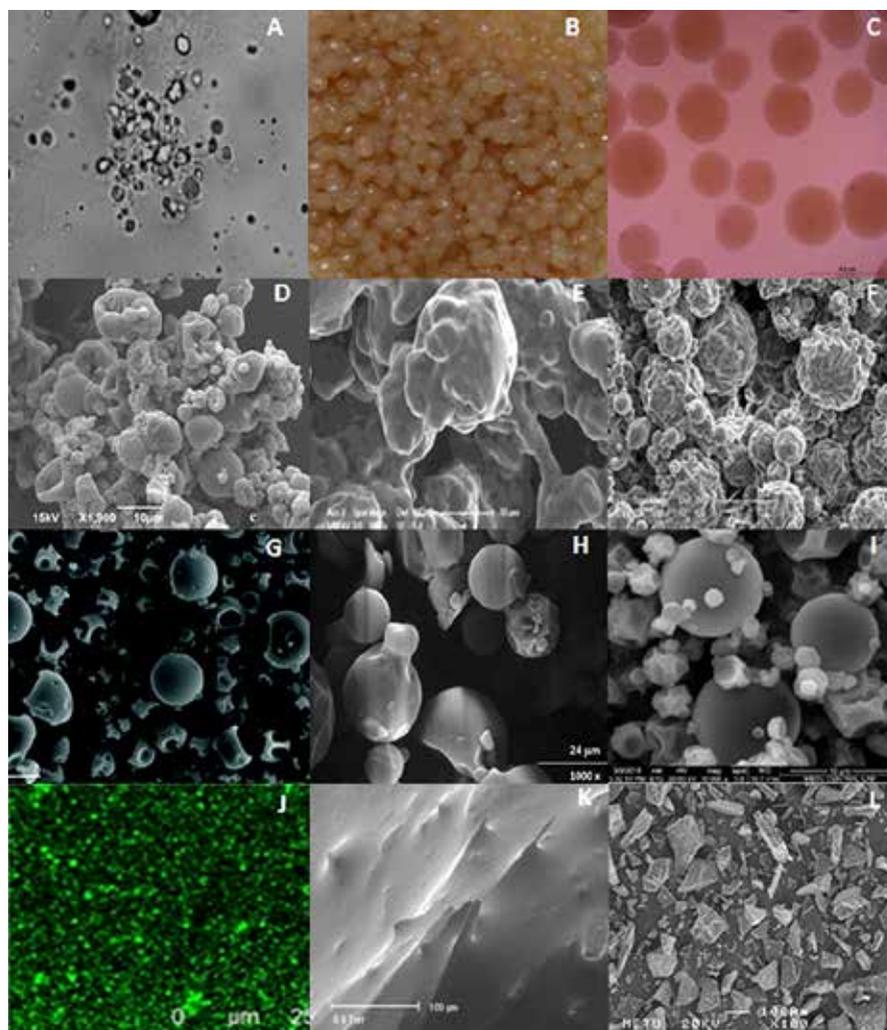
...continuación tabla 2.

| Autor | Fuente              | Tipo de extracción | Técnica de encapsulación | Material encapsulante | Resultados obtenidos  |
|-------|---------------------|--------------------|--------------------------|-----------------------|---|
| [48]  | Orujo de guinda     | Hidroalcohólica    | Liofilización            | Mezclas de MD y GA    | Las microcápsulas con relación entre principio activo: recubrimiento de 1:20 tenían tamaños de partículas más pequeños y mayores eficiencias de encapsulación (78-92%). |
| [59]  | Pomasa de betarraga | Hidroalcohólica    | Liofilización            | Proteína de soya      | La digestión in vitro y liberación de compuestos fenólicos mostraron una mayor liberación en el fluido intestinal simulado que en el gástrico.                          |
| [28]  | Escamas de cebolla  | Hidroalcohólica    | Gelación iónica          | Alginato              | Las perlas de alginato con 6% de principio activo mostraron la actividad antioxidante máxima manteniéndose estables en el fluido gástrico e intestinal simulado.        |
| [60]  | Orujo de uva        | Hidroalcohólica    | Gelación iónica          | alginato              | Extractos encapsulados fueron más estables que extractos libres. La eficiencia de encapsulación (20-30%) en perlas fue independiente de la concentración de extracto.   |
| [61]  | Orujo de uva        | Alcohólica         | Gelación iónica          | Alginato/ quitosano   | El mejor sistema fue alginato:quitosano (1:3% p/v). La eficiencia de encapsulación disminuyó al aumentar el diámetro de las perlas.                                     |

CMC: carboximetilcelulosa, GA: goma arábica, MD: maltodextrina.

En la figura 1 se muestran imágenes de extractos antioxidantes de sub-productos agroindustriales encapsulados. Se observan diferentes tipos de micropartículas incluyendo microcápsulas, perlas, liposomas y emulsiones, con diferencias morfológicas externas notables, dependiendo de la técnica de encapsulación utilizada y material encapsulante empleado. En la figura 1A se aprecian liposomas de lecitina que encapsulan extractos de sub-productos de mora recubiertos con quitosano y maltodextrina<sup>51</sup>. En la figura 1B-C se observa la apariencia de perlas de alginato que encapsulan extractos de cebolla y orujo de uva, encapsulados por la técnica de gelación iónica. Estas perlas exhiben un tamaño grande aproximado de 0,28 a 2,4 mm y formas esféricas<sup>28,60</sup>. En la figura 1D-L se muestran imágenes de micropartículas captadas mediante microscopía electrónica de barrido, excepto en la figura 1J que fue tomada con microscopio confocal. Las imágenes 1D-I, son micropartículas que encapsulan extractos de piel

de uva, residuos de arándano, tuna, alperujo de oliva y orujo de uva mediante secado por atomización, utilizando distintos tipos de material encapsulante (suero de leche, inulina, alginato, maltodextrina y mezcla de maltodextrina con goma arábica)<sup>42,56,57,58,62</sup>. La figura 1D-F muestran micropartículas con una superficie rugosa, con formas esféricas pero heterogéneas, mientras que las imágenes G-I exhiben superficies más lisas con formas esféricas y tamaños más homogéneos, aspecto asociado al material pared utilizado en cada caso. En la figura 1J-K se presentan nanoemulsiones, la primera de aceite de maíz con proteína de soja que encapsulan resveratrol<sup>63</sup> y la segunda de lecitina de soja con extractos de orujo de uva<sup>50</sup>. Finalmente, en la figura 1L se aprecian micropartículas elaboradas con mezclas de maltodextrina y goma arábica que encapsulan extractos de orujo de guinda liofilizados; éstas presentan formas y tamaños irregulares, que son característicos de la técnica empleada<sup>48</sup>.



**Figura 1:** Morfología externa de extractos antioxidantes encapsulados con distintos materiales pared y mediante diferentes técnicas. A: liposomas de lecitina recubiertos con quitosano y maltodextrina que encapsulan extractos de sub-productos de mora utilizando la técnica de atrapamiento en liposomas. B y C: Perlas de alginato de sodio con extractos de orujo de uva y escamas de cebolla generadas por gelación iónica. D, E, F, G, H, I: Micropartículas de varios materiales que encapsulan extractos de piel de uva, residuos de arándano, tuna, alperujo de oliva y orujo de uva, respectivamente, elaboradas por secado por atomización. J y K: nanoemulsiones que encapsulan resveratrol y extractos de orujo de uva, desarrolladas por la técnica de microemulsión. L: Micropartículas de mezclas de maltodextrina con goma arábica que encapsulan extractos de orujo de guinda mediante liofilización.

#### 4 Extractos antioxidantes encapsulados incorporados en matrices alimenticias

Actualmente, los consumidores exigen alimentos que satisfagan las necesidades nutricionales, y que además provean beneficios adicionales para la salud, como los alimentos funcionales<sup>8</sup>. Una estrategia para funcionalizar alimentos animales o humanos es la incorporación de extractos encapsulados provenientes de sub-productos agroindustriales. En la tabla 3 se presentan algunos estudios en donde se incorporaron antioxidantes naturales encapsulados

extraídos de sub-productos agroindustriales, en matrices alimenticias tales como galletas, helado, chocolate, pasta de avellana, leche y té. Las galletas y los helados son productos particularmente interesantes para la adición de ingredientes funcionales debido a su demanda, variedad, bajo costo y porque son consumidos por todos los estratos socioeconómicos de la población, ambos productos generalmente son pobres en antioxidantes naturales. Šaponjac et al<sup>8</sup> describió que la incorporación de extractos de orujo de cereza amarga encapsulados en galletas influyó positivamente en sus

**Tabla 3.** Ejemplos de extractos antioxidantes encapsulados e incorporados en matrices alimenticias.

| Autor | Fuente del extracto             | Encapsulación   | Alimento Matriz   | Resultados  |
|-------|---------------------------------|---|-------------------|---|
| [64]  | Semilla de uva                  | Microcápsulas de goma de mezquite y de maltodextrina con zeína  | Galletas          | Galletas con mayor capacidad antioxidante. Los panelistas encontraron que las galletas enriquecidas fueron más astringentes y con aromas y sabores similares a las del control      |
| [50]  | Orujo de uva                    | Nanoemulsiones  | Pasta de avellana | Pastas con menor oxidación lipídica   |
| [65]  | Piel de manzana más probióticos | Perlas de alginato  | Leche             | El probiótico co-encapsulado con el extracto mostró mayor viabilidad en la leche que el encapsulado sin el extracto   |
| [12]  | Cáscara de granada              | Microcápsulas de maltodextrina  | Helado            | Mejora significativa de actividad antioxidante de los helados enriquecidos. Más del 75% de aceptación en la evaluación sensorial  |
| [66]  | Cáscara de granada              | Micropartículas de mezclas de maltodextrina, leche desnatada en polvo, proteína de suero y goma arábica | Pasta de avellana | El extracto fenólico encapsulado fue eficaz para mejorar la vida útil de la pasta, a pesar de su solubilidad limitada en una matriz de alto contenido de lípidos                    |
| [8]   | Orujo de cereza amarga          | Micropartículas de suero de leche y proteína de soja  | Galletas          | La encapsulación influyó positivamente en las características funcionales de las galletas fortificadas, su conservación y color y recibieron una aceptación sensorial satisfactoria |
| [51]  | Sub-producto de mora            | Liposomas de lecitina cubiertos con quitosano y maltodextrina   | Chocolate         | Los liposomas cubiertos con quitosano proporcionaron mejor protección a las antocianinas tanto al aumento de la temperatura como al pH durante el procesamiento del chocolate       |
| [67]  | Pieles de naranja y té verde    | Micropartículas de gelatina y goma arábica  | Bolsa de té       | Las bolsas con micropartículas mejoraron la calidad del té  |

características funcionales, en su conservación y también en su coloración. Un efecto similar fue observado por Davidov et al<sup>64</sup> con microcápsulas de extractos de semilla de uva, agregadas en galletas, que presentaron mayor capacidad antioxidante, sin embargo, en este caso la astringencia fue percibida por los panelistas. Cam et al<sup>12</sup> concluyó que helados enriquecidos con extractos de cáscaras de granada encapsulados mejoraron la actividad antioxidante de este alimento y tuvieron una evaluación sensorial satisfactoria. En la leche, los extractos de piel de manzana encapsulados junto a probióticos han demostrado potenciar la viabilidad de los microorganismos utilizados<sup>65</sup>. De la misma forma, en productos con alto contenido de lípidos como la pasta de la avellana, propensos a la oxidación, la incorporación de extractos antioxidantes de orujo de uva y cáscara de granada encapsulados contribuyeron a prolongar su vida útil<sup>50,66</sup>. En el chocolate, extractos de sub-productos de mora ricos en antocianinas encapsulados como liposomas, mostraron mejor estabilidad al aumento de temperatura y al pH durante su procesamiento<sup>51</sup>. Estas investigaciones demuestran que la incorporación de compuestos antioxidantes encapsulados como ingrediente en distintos tipos matrices alimenticias mejora la estabilidad de los principios activos encapsulados y entrega propiedades funcionales a los alimentos, abriendo así posibilidades de aplicación en otros tipos de productos de la industria alimentaria.

Finalmente, en el mercado existen productos patentados elaborados en base a extractos de sub-productos agroindustriales, por ejemplo la empresa Abrobiotec S.L. cuenta con una gama de productos patentados como Eminol<sup>®</sup> y Vinesenti<sup>®</sup> elaborados a partir de extractos de orujo de uva, los cuales tienen como objetivo potenciar y enriquecer alimentos, aportando color, sabor y aromas característicos, además de prolongar su vida útil según lo informado en su página web (<https://matarromera.es/vinesenti/>)<sup>68</sup>. Otro producto comercial es el extracto de semilla de uva que utiliza el secado por atomización y se comercializa bajo la línea MegaNatural<sup>®</sup> y se emplea para funcionalizar alimentos o bebidas según la información de la empresa Polyphenolics S.A (<https://www.polyphenolics.com/meganatural-bp/>)<sup>69</sup>. La empresa Diana Food, con su producto CranPure<sup>™</sup> es otro producto comercializado, que contiene extracto de orujo de arándano secado por atomización utilizando carbohidratos (maltodextrina, almidones resistentes, inulina) como material encapsulante<sup>70</sup>. Estos son algunos ejemplos comerciales del uso de extractos antioxidantes de sub-productos agroindustriales y una pequeña muestra de los posibles usos de la tecnología de encapsulación.

## CONCLUSIONES

Los sub-productos agroindustriales vegetales son una fuente natural prometedora de compuestos bioactivos antioxidantes beneficiosos para la salud, y la encapsulación de sus extractos permite mejorar la estabilidad y enmascarar los sabores desagradables principalmente, pudiendo incorporarse en matrices alimenticias sin perder sus características

antioxidantes para la producción de distintas variedades de alimentos saludables.

**Agradecimientos.** Proyecto Fondef Idea ID16I10274 y Proyecto VID Enlace código ENL 04/19.

## BIBLIOGRAFÍA

1. De Corato U, De Bari I, Viola E, Pugliese M. Assessing the main opportunities of integrated biorefining from agro-bioenergy co/by-products and agroindustrial residues into high-value added products associated to some emerging markets: A review. *Renew Sust Energ Rev.* 2018; 88: 326-346.
2. Fierascu R, Fierascu I, Avramescu S, Sieniawska E. Recovery of natural antioxidants from agro-industrial side streams through advanced extraction techniques. *Molecules.* 2019; 24: 4212.
3. Solfrizzo M, Panzarini G, Visconti A. Determination of ochratoxin A in grapes, dried vine fruits, and winery byproducts by high-performance liquid chromatography with fluorometric detection (HPLC-FLD) and immunoaffinity cleanup. *J Agric Food Chem.* 2008; 56: 11081-11086.
4. Pimentel S, de la Luz Cádiz M, Rodríguez C, Segura A. Recent advances in extraction technologies of phytochemicals applied for the revaluation of agri-food by-products. *Functional and preservative properties of phytochemicals.* Academic Press, USA, 2020.
5. Trigo J, Alexandre E, Saraiva J, Pintado M. High value-added compounds from fruit and vegetable by-products—Characterization, bioactivities, and application in the development of novel food products. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 2020; 60: 1388-1416.
6. Ozkan C, Franco P, De Marco I, Xiao J, Capanoglu E. A review of microencapsulation methods for food antioxidants: Principles, advantages, drawbacks and applications. *Food Chem.* 2019; 272: 494-506.
7. Popović D. A, Milinčić D. D, Pešić M. B, Kalušević A. M, Tešić Ž. L, Nedović V. A. ed. *Encapsulation Technologies for Polyphenol-Loaded Microparticles in Food Industry.* Green Food Processing Techniques. USA. Academic Press. 2019; p. 335-367.
8. Šaponjac V, Četković G, Čanadanović-Brunet J, Pajin B, Djilas S, Petrović J, Vulić J. Sour cherry pomace extract encapsulated in whey and soy proteins: Incorporation in cookies. *Food Chem.* 2016; 207: 27-33.
9. Kumari B, Tiwari B, Hossain M, Brunton N, Rai D. Recent advances on application of ultrasound and pulsed electric field technologies in the extraction of bioactives from agro-industrial by-products. *Food Bioproc Technol.* 2018; 11: 223-241.
10. Čanadanović J, Tumbas V, Stajčić S, Četković G, Čanadanović V, Čebović T, et al. Polyphenolic composition, antiradical and hepatoprotective activities of bilberry and blackberry pomace extracts. *J Berry Res.* 2019; 9: 349-362.
11. Boonchu T, Utama-Ang N. Optimization of extraction and microencapsulation of bioactive compounds from red grape (*Vitis vinifera* L.) pomace. *J Food Sci Technol.* 2015; 52: 783-792.
12. Çam M, İçyer N, Erdoğan F. Pomegranate peel phenolics: microencapsulation, storage stability and potential ingredient for functional food development. *LWT - Food Sci Technol.* 2014; 55: 117-123.
13. Christoforou E, Fokaidis P. A review of olive mill solid wastes to energy utilization techniques. *Waste Manage.* 2016; 49: 346-363.

14. Del Valle M, Cámara M, Torija M. Chemical characterization of tomato pomace. *J Sci Food Agric*. 2006; 86: 1232-1236.
15. Rosero J, Cruz S, Osorio C, Hurtado N. Analysis of phenolic composition of byproducts (seeds and peels) of avocado (*Persea americana* mill.) cultivated in Colombia. *Molecules*. 2019; 24: 3209.
16. Bordiga M, Travaglia F, Locatelli M. Valorisation of grape pomace: an approach that is increasingly reaching its maturity—a review. *Int J Food Sci Tech*. 2019; 54: 933-942.
17. Saikia S, Mahnot N, Mahanta C. Optimisation of phenolic extraction from Averrhoa carambola pomace by response surface methodology and its microencapsulation by spray and freeze drying. *Food Chem*. 2015; 171: 144-152.
18. Kushwaha R, Kumar V, Vyas G, Kaur J. Optimization of different variable for eco-friendly extraction of betalains and phytochemicals from beetroot pomace. *Waste Biomass Valor*. 2018; 9: 1485-1494.
19. Kumar V, Kushwaha R, Goyal A, Tanwar B, Kaur J. Process optimization for the preparation of antioxidant rich ginger candy using beetroot pomace extract. *Food Chem*. 2018; 245: 168-177.
20. Pintač D, Majkić T, Torović L, Orčić D, Beara I, Simin N, Lesjak M. Solvent selection for efficient extraction of bioactive compounds from grape pomace. *Ind Crops Prod*. 2018; 111: 379-390.
21. Wang L, Boussetta N, Lebovka N, Vorobiev E. Effects of ultrasound treatment and concentration of ethanol on selectivity of phenolic extraction from apple pomace. *Int J Food Sci Technol*. 2018; 53: 2104-2109.
22. He B, Zhang L, Yue X, Liang J, Jiang J, Gao X, et al. Optimization of ultrasound-assisted extraction of phenolic compounds and anthocyanins from blueberry (*Vaccinium ashei*) wine pomace. *Food Chem*. 2016; 204: 70-76.
23. Benelli P, Riehl C, Smânia A, Smânia E, Ferreira R. Bioactive extracts of orange (*Citrus sinensis* L. Osbeck) pomace obtained by SFE and low pressure techniques: mathematical modeling and extract composition. *J Supercrit Fluids*. 2010; 55: 132-141.
24. Silva Y, Ferreira T A, Celli G, Brooks M. Optimization of lycopene extraction from tomato processing waste using an eco-friendly ethyl lactate–ethyl acetate solvent: a green valorization approach. *Waste Biomass Valor*. 2018; 1-11.
25. Nour V, Panaite T, Ropota M, Turcu R, Trandafir I, Corbu A. Nutritional and bioactive compounds in dried tomato processing waste. *CyTA-J Food*. 2018; 16: 222-229.
26. Morsi M, Galal S, Alabdulla O. Ultrasound assisted extraction of polyphenols with high antioxidant activity from olive pomace (*Olea europaea* L.). *Carpath J Food Sci Technol*. 2019; 11: 193-202.
27. Bustamante A, Hinojosa A, Robert P, Escalona V. Extraction and microencapsulation of bioactive compounds from pomegranate (*Punica granatum* var. Wonderful) residues. *Int J Food Sci Technol*. 2017; 52: 1452-1462.
28. Kanatt S, Tari S, Hawla S. Encapsulation of extract prepared from irradiated onion scales in alginate beads: a potential functional food ingredient. *J Food Meas Charact*. 2018; 12: 848-858.
29. Rezende Y, Nogueira J, Narain N. Microencapsulation of extracts of bioactive compounds obtained from acerola (*Malpighia marginata* DC) pulp and residue by spray and freeze drying: Chemical, morphological and chemometric characterization. *Food Chem*. 2018; 254: 281-291.
30. Jabbar S, Abid M, Wu T, Hashim M, Saeeduddin M, Hu B, et al. Ultrasound assisted extraction of bioactive compounds and antioxidants from carrot pomace: a response surface approach. *J Food Process Pres*. 2015; 39: 1878-1888.
31. Frontuto D, Carullo D, Harrison S, Brunton N, Ferrari G, Lyng J, et al. Optimization of pulsed electric fields-assisted extraction of polyphenols from potato peels using response surface methodology. *Food Bioproc Technol*. 2019; 12: 1708-1720.
32. De la Cerda-Carrasco A, López-Solís R, Nuñez-Kalasic H, Peña-Neira Á, Obreque-Slier, E. Phenolic composition and antioxidant capacity of pomaces from four grape varieties (*Vitis vinifera* L.). *J Sci Food Agric*. 2015; 95: 1521-1527.
33. Bousenna A, Joubert-Zakeyh J, Fraisse D, Pereira B, Vasson M, Texier O, et al. Dietary supplementation with a low dose of polyphenol-rich grape pomace extract prevents dextran sulfate sodium-induced colitis in rats. *J Med Food*. 2016; 19: 755-758.
34. Correddu F, Lunesu M, Buffa G, Atzori A, Nudda A, Battacone G, et al. Can agro-industrial by-products rich in polyphenols be advantageously used in the feeding and nutrition of dairy small ruminants? *Animals*. 2020; 10: 131-137.
35. Özçelik A, Acaroğlu M, Köse H. Determination of combustion characteristics of olive pomace biodiesel–Eurodiesel fuel mixtures. *Energ Source Part A*. 2020; 42: 1476-1489.
36. Urquiaga I, D’Acuña S, Pérez D, Dicenta S, Echeverría G, Rigotti A, et al. Wine grape pomace flour improves blood pressure, fasting glucose and protein damage in humans: a randomized controlled trial. *Biol Res*. 2015; 48: 49-57.
37. Böger B, Bruna A, Lucchetta L, Porto E. Use of jaboticaba (*Plinia cauliflora*) skin in the processing of ice creams. *Rev Chil Nutr*. 2019; 46: 154-159.
38. Gallego R, Bueno M, Herrero M. Sub- and supercritical fluid extraction of bioactive compounds from plants, food-by-products, seaweeds and microalgae—An update. *TrAC Trend Anal Chem*. 2019; 116: 198-213.
39. Pingret D, Fabiano-Tixier A, Le Bourvellec C, Renard C, Chemat F. Lab and pilot-scale ultrasound-assisted water extraction of polyphenols from apple pomace. *J Food Eng*. 2015; 111: 73-81.
40. Saifullah M, Shishir M, Ferdowsi R, Rahman M, Van Vuong Q. Micro and nano encapsulation, retention and controlled release of flavor and aroma compounds: A critical review. *Trends Food Sci Technol*. 2019; 86: 230-251.
41. Chiu Y, Chiu C, Chien J, Ho G, Yang J, Chen B. Encapsulation of lycopene extract from tomato pulp waste with gelatin and poly ( $\gamma$ -glutamic acid) as carrier. *J Agric Food Chem*. 2007; 55: 5123-5130.
42. Waterhouse G, Sun-Waterhouse D, Su G, Zhao H, Zhao M. Spray-drying of antioxidant-rich blueberry waste extracts: interplay between waste pretreatments and spray-drying process. *Food Bioproc Technol*. 2017; 10: 1074-1092.
43. Zhang L, Mou D, Du Y. Procyanidins: extraction and micro-encapsulation. *J Sci Food Agric*. 2007; 87: 2192-2197.
44. Madene A, Jacquot M, Scher J, Desobry S. Flavour encapsulation and controlled release - a review. *Int J Food Sci Technol*. 2006; 41: 1-21.
45. Durán E, Villalobos C, Churio O, Pizarro F, Valenzuela C. Iron encapsulation: Another strategy for the prevention or treatment of iron deficiency anemia. *Rev Chil Nutr*. 2017; 44: 234-243.
46. Chawda P, Shi J, Xue S, Young S. Co-encapsulation of bioactives for food applications. *Food Qual Saf*. 2017; 1: 302-309.
47. Assadpour E, Jafari S. Advances in spray-drying encapsulation of food bioactive ingredients: From microcapsules to

- nanocapsules. *Annu Rev Food Sci Technol*. 2019; 10: 103-131.
48. Cilek B, Luca A, Hasirci V, Sahin S, Sumnu G. Microencapsulation of phenolic compounds extracted from sour cherry pomace: effect of formulation, ultrasonication time and core to coating ratio. *Eur Food Res Technol*. 2012; 235: 587-596.
  49. Lu W, Kelly A, Miao S. Emulsion-based encapsulation and delivery systems for polyphenols. *Trends Food Sci Technol*. 2016; 47: 1-9.
  50. Spigno G, Donsi F, Amendola D, Sessa M, Ferrari G, De Faveri D. Nanoencapsulation systems to improve solubility and antioxidant efficiency of a grape marc extract into hazelnut paste. *J Food Eng*. 2013; 114: 207-214.
  51. Gültekin-Özgüven M, Karadağ A, Duman Ş, Özkal B, Özçelik B. Fortification of dark chocolate with spray dried black mulberry (*Morus nigra*) waste extract encapsulated in chitosan-coated liposomes and bioaccessibility studies. *Food Chem*. 2016; 201: 205-212.
  52. Labuschagne P. Impact of wall material physicochemical characteristics on the stability of encapsulated phytochemicals: A review. *Food Res Int*. 2018; 17: 227-247.
  53. Michalska-Ciechanowska A, Majerska J, Brzezowska J, Wojdyło A, Figiel A. The influence of maltodextrin and inulin on the physico-chemical properties of cranberry juice powders. *Chem Eng*. 2020; 4: 12.
  54. Valenzuela C, Hernández V, Morales M, Pizarro F. Heme iron release from alginate beads at in vitro simulated gastrointestinal conditions. *Biol Trace Elem Res*. 2016; 172: 251-257.
  55. Akbari-Alavijeh S, Shaddel R, Jafari S. Encapsulation of food bioactives and nutraceuticals by various chitosan-based nanocarriers. *Food Hydrocoll*. 2020; 105: 774.
  56. Kalušević A, Lević S, Čalića B, Milić J, Pavlović V, Bugarski B, et al. Effects of different carrier materials on physicochemical properties of microencapsulated grape skin extract. *J Food Sci Technol*. 2017; 54: 3411-3420.
  57. Aliakbarian B, Sampaio F, De Faria J, Pitangui C, Lovaglio F, Casazza A, et al. Optimization of spray drying microencapsulation of olive pomace polyphenols using response surface methodology and artificial neural network. *LWT- Food Sci Tech*. 2018; 93: 220-228.
  58. Tolun A, Altintas Z, Artik N. Microencapsulation of grape polyphenols using maltodextrin and gum arabic as two alternative coating materials: Development and characterization. *J Biotechnol*. 2016; 239: 23-33.
  59. umbas Šaponjac V, Čanadanović-Brunet J, Četković G, Jakišić M, Djilas S, Vulić J, et al. Encapsulation of beetroot pomace extract: RSM optimization, storage and gastrointestinal stability. *Molecules*. 2016; 21: 584.
  60. Aizpurua-Olaizola O, Navarro P, Vallejo A, Olivares M, Etxebarria N, Usobiaga A. Microencapsulation and storage stability of polyphenols from *Vitis vinifera* grape wastes. *Food Chem*. 2016; 190: 614-621.
  61. Moschona A, Liakopoulou-Kyriakides M. Encapsulation of biological active phenolic compounds extracted from wine wastes in alginate-chitosan microbeads. *J Microencapsul*. 2018; 35: 229-240
  62. Gándia-Herrero F, Jimenez-Atienzar M, Cabanes J, Garcia-Carmona F, Escribano J. Stabilization of the bioactive pigment of *Opuntia* fruits through maltodextrin encapsulation. *J Agric Food Chem*. 2010; 58: 10646-10652.
  63. Wan Z, Wang J, Wang L, Yang X, Yuan Y. Enhanced physical and oxidative stabilities of soy protein-based emulsions by incorporation of a water-soluble stevioside-resveratrol complex. *J Agric Food Chem*. 2013; 61: 4433-4440.
  64. Davidov G, Moreno M, Arozarena I, Marín-Arroyo M, Bleibaum R, Bruhn C. Sensory and consumer perception of the addition of grape seed extracts in cookies. *J Food Sci*. 2012; 77: 430-438.
  65. Shinde T, Sun-Waterhouse D, Brooks J. Co-extrusion encapsulation of probiotic lactobacillus acidophilus alone or together with apple skin polyphenols: an aqueous and value-added delivery system using alginate. *Food Bioprocess Tech*. 2014; 7: 1581-1596.
  66. Kaderides K, Goula A, Adamopoulos K. A process for turning pomegranate peels into a valuable food ingredient using ultrasound-assisted extraction and encapsulation. *Innov Food Sci Emerg Technol*. 2015; 31: 204-215.
  67. Rasouli Ghahroudi F, Mizani M, Rezaei K, Bameni Moghadam M. Mixed extracts of green tea and orange peel encapsulated and impregnated on black tea bag paper to be used as a functional drink. *International. J Food Sci Technol*. 2017; 52: 1534-1542.
  68. Moro C. Procedure for the extraction of polyphenols from of grape marc from distillation. Spain; 2319032. 2007. Available at: <https://patents.google.com/patent/ES2319032A1/es> [citado el 30 de abril del 2020].
  69. Shrikhande A, Wang H, Kupina S. Grape extract, supplement in the diet of the same and preparation procedure. Spain; 2542713T3. 2006. Available at <https://patents.google.com/patent/ES2542713T3/es> (citado el 30 de abril del 2020).
  70. Sanoner P, Bochar V, Charissou L, Lastique B, Jacob M, Thomas P. Blueberry extract useful in the treatment and prevention of urinary infections. Spain; 2607801T3. 2013. Available at: <https://patents.google.com/patent/ES2607801T3/es> (citado el 02 de mayo del 2020).