

Economía circular como medio para alcanzar la seguridad alimentaria

Circular economy as a mean to achieve food safety

DOI: 10.46932/sfjdv5n7-039

Received on: Jun 28th, 2024

Accepted on: Jul 19th, 2024

Sandra Karina Velázquez Gutiérrez

Doctora en Ciencias Químicas

Institución: Facultad de Química, Universidad Autónoma del Estado de México

Dirección: Paseo Colón esq. Paseo Tollocan, s/n, Toluca, Estado de México, México, CP: 50120

Correo electrónico: sandyvgutz@gmail.com

Julian Cruz Olivares

Doctor en Ciencias Ambientales

Institución: Facultad de Química, Universidad Autónoma del Estado de México

Dirección: Paseo Colón esq. Paseo Tollocan, s/n, Toluca, Estado de México, México, CP: 50120

Correo electrónico: jcruzo@uaemex.mx

Angélica Román Guerrero

Doctora en Biotecnología

Institución: Departamento de Biotecnología, Universidad Autónoma Metropolitana

Dirección: Ferrocarril San Rafael Atlixco, 186, Iztapalapa, México City, México, CP: 09310

Correo electrónico: aroman@izt.uam.mx

Erik Alpizar Reyes

Doctor en Ciencias Químicas

Institución: Laboratorio de Macromoléculas de Base Biológica, Departamento de Ingeniería en Maderas, Universidad del Bío Bío

Dirección: Av. Collao, 1202, Concepción, Chile, CP: 4081112

Correo electrónico: ealpizar@ubiobio.cl

José Francisco Barrera Pichardo

Maestro em Ingeniería Química

Institución: Facultad de Química, Universidad Autónoma del Estado de México

Dirección: Paseo Colón esq. Paseo Tollocan, s/n, Toluca, Estado de México, México, CP: 50120

Correo electrónico: jfbarrerap@uaemex.mx

Rosalva Leal Silva

Doctora en Educación

Institución: Facultad de Química, Universidad Autónoma del Estado de México

Dirección: Paseo Colón esq. Paseo Tollocan, s/n, Toluca, Estado de México, México, CP: 50120

Correo electrónico: rosolvaleal@gmail.com

César Pérez Alonso

Doctor en Ciencias

Institución: Facultad de Química, Universidad Autónoma del Estado de México

Dirección: Paseo Colón esq. Paseo Tollocan, s/n, Toluca, Estado de México, México, CP: 50120

Correo electrónico: cpereza@uaemex.mx

RESUMEN

Producir productos alimentarios con alta calidad nutrimental y alcanzar la seguridad alimentaria para poseer una vida más sana en toda la humanidad es un reto que conlleva a generar, por parte de científicos y tecnólogos en alimentos, procesos más sostenibles y sustentables con el ambiente. Para ello, la economía circular alimentaria surge como una alternativa que permite utilizar los altos volúmenes producidos de desperdicios biológicos y generar nuevos insumos para ser empleados por la industria; este es el caso específico de biopolímeros y bionutrientes que son incorporados en la cadena productiva alimentaria para elaborar alimentos procesados menos dañinos a la salud y más económicos para la sociedad con el objeto de combatir y abatir el hambre en el mundo. Por tanto, el principal objetivo de este trabajo fue demostrar brevemente que la economía circular alimentaria surge como mecanismo o medio viable y factible para poder alcanzar el segundo Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) presente en la agenda 2030 de la ONU.

Palabras clave: Seguridad Alimentaria, Economía Circular, Bionutrientes, Extracción, Encapsulación.

ABSTRACT

The production of food products with high nutritional quality and the achievement of Food Safety to acquire a better life for the humanity has become a challenge that leads, food scientists and technologists, to eco-friendly and sustainable processes development. To this, circular economy arises as an alternative that allows high volumes of biological waste produced from manufacturing to be used as new sources for industry; in the specific conditions of biopolymers and bionutrientes, they can be incorporated into food production chain to prepare processed foods less harmful to human health and low-cost to society in order to combat and destroy hunger in the world. According to this, the main objective of this study was to briefly demonstrate that Food Circular Economy appears as a mechanism or factible mean to reach the second Sustainable Development Goal (SDG) established in the agenda of the United Nations (ONU) for 2030.

Keywords: Food Safety, Circular Economy, Bionutrients, Extraction, Encapsulation.

1 INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, la agenda 2030 referente a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) enfatiza en su objetivo número dos, tener mejor nutrición, lograr la seguridad alimentaria, poner fin al hambre, y promover una agricultura sostenible. Este objetivo busca soluciones sostenibles para terminar definitivamente con el hambre y lograr la seguridad alimentaria para toda la humanidad de manera que se tengan suficientes alimentos y de buena calidad para tener una vida saludable. Para los países en vías de desarrollo, dar cumplimiento total a este objetivo para 2030 es un reto, ya que será necesaria la mejora de los procesos productivos agrícolas e industriales para lograr un mayor acceso a los alimentos, y la promoción generalizada de la agricultura sostenible. Además de lo anterior, se requieren mayores inversiones a través de la cooperación internacional para reforzar la capacidad productiva de la agricultura (Guterres, 2023).

Para darnos una idea, el crecimiento de la población, en conjunto con la urbanización y la industrialización, así como las alteraciones en los patrones de consumo, contribuyen al enorme volumen de residuos orgánicos. De acuerdo con la información del Banco Mundial, el mundo genera 2.01 billones

de toneladas de residuos sólidos cada año, y al menos el 33% de esa cantidad no se gestiona de manera ambientalmente segura. Los residuos generados por persona por día en el mundo tienen un promedio de 0.74 kg pero varían mucho, oscilando entre 0.11 y 4.5 kg. A pesar de tener sólo el 16% de la población mundial, los países catalogados como de primer mundo generan aproximadamente el 34% de los desechos del mundo, es decir, 683 millones de toneladas. Los países que conforman la Organización para la Cooperación Económica y Desarrollo (OCDE) son responsables de producir 533.8 kg per cápita de residuos orgánicos en el mundo (Priya *et al.*, 2023). Para el caso del Caribe y Latinoamérica, la producción de residuos sólidos ronda los 216 millones de toneladas anuales, de los cuáles el 52% son residuos orgánicos, y sólo el 60% se dispone adecuadamente (Davila-Vidarte *et al.*, 2024).

Durante la producción de alimentos procesados, generalmente se utilizan productos agrícolas como frutos, vegetales, granos, cereales y semillas, así como fuentes animales, que a su vez generan altas cantidades de desperdicios biológicos (desperdicios orgánicos) como son las cáscaras de fuentes agrícolas y crustáceos marinos, entre otros. Una alternativa viable y factible para aprovechar y reutilizar los desperdicios biológicos es utilizar procesos biotecnológicos que permitan producir bioproductos alimentarios con un enfoque de economía circular.

Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es exponer el valor que tiene la economía circular en la industria alimentaria para mejorar los procesos productivos de alimentos procesados disminuyendo así la generación de residuos industriales y/o reutilizando estos para elaborar nuevos insumos alimentarios y desarrollar procesos productivos alimentarios con un enfoque más sostenible y sustentable que propicien la generación de alimentos ricos en bionutrientes que mejoren la salud del ser humano.

2 METODOLOGÍA

Dentro de la clasificación de los bioproductos alimentarios se encuentran los alimentos funcionales, suplementos alimenticios, complementos alimenticios, aditivos alimenticios y alimentos nutraceuticos. Esta amplia variedad de bioproductos poseen un común denominador, su consumo debe de beneficiar la salud humana tanto física como mental. Los bioproductos están compuestos a su vez por bionutrientes, entre los que destacan las vitaminas, minerales, proteínas animales y vegetales, aceites grasos insaturados (omegas 3, 6, 9), carotenos, flavonoides, polifenoles, antocianinas, etc.; que se encuentran en fuentes agrícolas y animales (Ye *et al.*, 2018).

Para que estos bionutrientes formen parte de un alimento procesado o ultraprocesado, en primera instancia deben ser extraídos y posteriormente deben de ser protegidos para resistir las etapas de procesamiento, almacenamiento, distribución y consumo, ya que estos nutrientes son sumamente lábiles a condiciones ambientales como la temperatura, oxígeno, luz, humedad, entre otros. Desafortunadamente

las tecnologías convencionales de extracción y procesamiento de alimentos conllevan a dañar, deteriorar o degradar de manera significativa a los bionutrientes; por ello, cobra relevancia científica desarrollar nuevas tecnologías de procesamiento para producir y garantizar alimentos de calidad.

Entre las tecnologías de extracción de bionutrientes que han cobrado gran interés para la comunidad científica e industrial se encuentran los procesos de extracción verde entre los que destacan fluidos supercríticos, ultrasonido, microondas y pulsos eléctricos (Picot-Allain *et al.*, 2021). Con respecto a las tecnologías que brindan protección a los bionutrientes se encuentran las técnicas de encapsulación como la liofilización, gelificación iónica, coacervación, emulsionamiento, secado en lecho fluidificado y secado por aspersión (Timilsena *et al.*, 2020).

2.1 TECNOLOGÍAS DE EXTRACCIÓN DE BIONUTRIENTES

La extracción de bionutrientes provenientes de fuentes naturales es una tecnología ampliamente utilizada para obtener productos con valor agregado, y tiene como objetivo disminuir la generación de desperdicios biológicos. Los extractos obtenidos pueden conservarse durante más tiempo y pueden utilizarse en la creación de productos de consumo humano saludables. Tradicionalmente, el procesamiento de materias primas en productos de consumo utilizando la técnica de extracción, se ha efectuado por medio del uso de disolventes, que con frecuencia implican productos químicos potencialmente dañinos y un consumo excesivo de energía. Los métodos convencionales de extracción, como la maceración, la hidrodestilación, la extracción Soxhlet y otros, suelen requerir grandes cantidades de disolvente y tiempo prolongados de proceso, induciendo la descomposición de algunos de los componentes deseados; como resultado, estas técnicas no son respetuosas con el medio ambiente (Usman *et al.*, 2022).

En la actualidad existe una tendencia a investigar técnicas innovadoras y respetuosas con el medio ambiente para la extracción de bionutrientes. Las tecnologías verdes son un camino prometedor, ya que reducen tiempos de extracción, reducen el consumo de energía, contrarrestan efectos negativos en el medio ambiente, mejoran la seguridad, aumentan la innovación y la competitividad y, en general, desarrollan procesos más sostenibles.

La llegada de estas nuevas tecnologías de extracción marca un importante paso hacia adelante en respuesta a las crecientes preocupaciones ambientales y el impulso hacia prácticas industriales sostenibles. Se ha descubierto que técnicas como la extracción asistida por microondas, la extracción con fluidos supercríticos, los métodos enzimáticos y la extracción con campos eléctricos pulsados son importantes en esta nueva ola de tecnologías alternativas. Estos métodos tienen como objetivo común optimizar el proceso de extracción al mismo tiempo que equilibran cuidadosamente la sostenibilidad ambiental.

Además, estas tecnologías con frecuencia brindan la ventaja adicional de preservar la integridad estructural y funcional de los bionutrientes, lo cual mejora sus aplicaciones potenciales en una variedad de industrias alimentarias (Loncaric *et al.*, 2020).

Los métodos de extracción verde están listos para redefinir el panorama de la extracción y utilización de bionutrientes, ampliando los límites de lo que es posible, reafirmando el compromiso con la sostenibilidad y contribuyendo a la economía circular a medida que se desarrollan. A continuación, se describen brevemente algunas de estas tecnologías:

2.1.1 Extracción con fluidos supercríticos

Este tipo de extracción surge como una opción potencial para la obtención de bionutrientes de alta calidad. Debido a su punto crítico fácilmente alcanzable ($T_c = 31\text{ °C}$ y $P_c = 7.4\text{ MPa}$), el CO_2 es el disolvente preferido para la extracción de fluidos supercríticos porque es seguro, no tóxico, no inflamable y económico. Además, este método opera en intervalos de temperatura y presión críticas relativamente bajas, lo que evita la degradación térmica de los bionutrientes extraídos como aceites, compuestos fenólicos, antocianinas, flavonoides y carotenos (Andrade-Avila *et al.*, 2017).

2.1.2 Extracción asistida con microondas

Esta tecnología utiliza energía electromagnética en el intervalo de frecuencia de 300 MHz a 300 GHz para su operación y es actualmente una de las técnicas preferidas por los tecnólogos para extraer bionutrientes de fuentes vegetales. Su fundamento viene del uso de ondas de frecuencia que facilitan la partición del soluto (material vegetal). Algunos factores que vuelven exitosa esta técnica son su rápida velocidad de calentamiento, su gradiente térmico reducido, su alto rendimiento, su efectividad en la extracción a partir de muestras húmedas y su mejor interacción vegetal-disolvente en las partículas finas (100 μm a 2 mm) que, debido a su mayor superficie, favorecen la penetración más profunda de las microondas. Los materiales vegetales con una gran cantidad de agua absorben bien las microondas y experimentan un rápido aumento de la temperatura interna, lo que hace que las células vegetales se rompan y se mejore la extracción de compuestos intracelulares (Song *et al.*, 2022).

2.1.3 Extracción asistida con ultrasonido

Esta tecnología se destaca como una alternativa sostenible por su sencillez, bajo costo y mayor eficiencia en comparación con métodos de extracción convencionales. Se basa en el proceso de cavitación

acústica, que es la creación, crecimiento e implosión de burbujas que dañan las paredes celulares de los vegetales y promueven la liberación de bionutrientes. Los equipos ultrasónicos emiten ondas a través de un baño o una sonda produciendo energía ultrasónica; el dispositivo más popular es el baño de ultrasonido, que se compone de un tanque de acero inoxidable que normalmente opera a frecuencias de 40 kHz. Por otro lado, un sistema de ultrasonido acoplado a sonda proporciona 100 veces la potencia del baño ultrasónico y normalmente funciona a frecuencias de 20 kHz.

Durante la extracción, el ultrasonido se puede utilizar indirecta o directamente a través de los modos de baño y sonda, respectivamente. El tamaño de las partículas, la relación solvente-alimento, la temperatura de extracción, el tiempo y la potencia o intensidad ultrasónica son parámetros de extracción que tienen un impacto significativo en la eficiencia del proceso ultrasónico (Khadhraoui *et al.*, 2021).

2.1.4 Extracción mediante campos eléctricos pulsados

La extracción utilizando campos eléctricos pulsados (CEP) expone la matriz vegetal a un potencial eléctrico para extraer sus bionutrientes. Esta tecnología utiliza un transformador para producir pulsos eléctricos de 0.1 kV hasta 25 kV, aproximadamente. El equipo también contempla un capacitor en una cámara cerrada con electrodos metálicos que transforman este alto voltaje en un pulso estrecho. Los CEP se han utilizado con éxito para tratar frutas enteras o cáscaras, así como trozos y rodajas de varios tamaños (Ávila-Hernández *et al.*, 2022).

2.2 TECNOLOGÍAS DE ENCAPSULACIÓN DE BIONUTRIENTES

La encapsulación es una tecnología que se emplea para diseñar diferentes productos alimentarios en diversos sectores de la industria alimentaria; especialmente se centra en el procesamiento y fabricación de alimentos especializados y funcionales, así como en la innovación de productos alimentarios. Esta tecnología se aplica para entrapar un compuesto funcionalmente bioactivo (bionutriente) dentro de un material (matriz biopolimérica) que debe ser inerte, formando partículas que van desde unos pocos nanómetros hasta unos 1000 micrones (Yang *et al.*, 2020); además, puede sumar propiedades funcionales novedosas en productos alimenticios procesados y entregar eficazmente el bionutriente en el sitio específico a una velocidad de liberación controlada. Como consecuencia de ello, durante mucho tiempo se han explorado varias técnicas de encapsulación (Timilsena *et al.*, 2020).

El bionutriente que se va a encapsular generalmente se conoce como núcleo, carga útil, -material activo o fase interna. Por otra parte, el material empleado para encapsular al bionutriente generalmente es

un biopolímero al cual se le denomina agente encapsulante, material de pared, membrana, cubierta, o matriz (Ye *et al.*, 2018).

La tecnología de encapsulación se aplicó industrialmente por primera vez en la década de los 30's para la fabricación del conocido papel autocopiante; sin embargo, ha recibido gran interés del sector alimentario debido a su capacidad para brindar protección a una variedad de bionutrientes (componentes bioactivos inestables). En la actualidad siguen surgiendo nuevas técnicas de encapsulación y muchas empresas comercializan productos registrados a partir de sus tecnologías patentadas; se ha proyectado una tasa de crecimiento anual del 13.70% para expandir la encapsulación en el mercado mundial, llegando a 19.35 mil millones de dólares para 2025 (Yang *et al.*, 2020).

La selección de la técnica debe contemplar las características deseadas del encapsulado según su posterior aplicación, las propiedades del agente encapsulante y la naturaleza fisicoquímica del bionutriente (Timilsena *et al.*, 2020). Brevemente se exponen a continuación las técnicas de encapsulación más utilizadas y representativas dentro del ramo alimentario:

2.2.1 Secado por aspersión

Esta técnica está constituida principalmente por tres etapas; en la primera etapa se preparan dispersiones, soluciones o emulsiones donde se homogeneiza el bionutriente, que puede ser de naturaleza hidrofílica o hidrofóbica en el agente encapsulante, el cual generalmente es un biopolímero o mezcla de diferentes biopolímeros. La segunda etapa consiste en alimentar la fase líquida homogenizada dentro del secador por aspersión mediante un atomizador que asperja el líquido dentro de la cámara de secado y cuando este se pone en contacto con el aire caliente dentro del equipo, en cuestión de segundos se evapora el agua de la fase líquida y se producen las partículas sólidas (microcápsulas o nanocápsulas), las cuales se precipitan en la parte inferior del secador para que, en una tercera etapa, las partículas sean recolectadas en un ciclón para su posterior almacenamiento. Las ventajas que ofrece esta técnica de encapsulación son: a nivel industrial este proceso opera de manera continua, el tiempo de secado es muy corto y, por ende, los costos de producción son relativamente bajos; sin embargo, este proceso de secado tiene algunas desventajas como la posible formación de aglomerados, la adhesión parcial de la fase líquida en la cámara de secado, la posible degradación de los bionutrientes debido a condiciones de operación como altas temperaturas y un número limitado de agentes encapsulantes que se pueden utilizar (Timilsena *et al.*, 2020).

Dentro de los principales agentes encapsulantes que se utilizan con esta técnica de encapsulación se encuentran los exudados de gomas (goma Arábiga, goma de mezquite, goma guar, goma xantana),

maltodextrinas, celulosas, almidones, proteínas vegetales (haba, chícharo, soya), proteínas animales (proteína de suero de leche), alginatos y mucilagos (nopál, chíá, linaza, tamarindo).

2.2.2 Liofilización

Este proceso de encapsulación es útil cuando se desea secar sustancias termosensibles que son inestables en soluciones acuosas. La base de ésta técnica consiste en congelar al bionutriente (polifenoles, antocianinas, flavonoides, saborizantes naturales, colorantes naturales, etc.), posteriormente reducir la presión circundante y aumentar la temperatura, de manera que se logre sublimar, directamente de la fase sólida a la fase gaseosa, el agua congelada presente en el bionutriente. La liofilización ha sido una técnica de fácil implementación que tradicionalmente se ha empleado para encapsular esencias y aromas naturales solubles en agua, así como fármacos. Sin embargo, esta técnica no es tan atractiva en comparación con otras debido a que su costo resulta ser hasta 50 veces mayor que el del secado por aspersión; además, el almacenamiento y transporte de las partículas producidas es extremadamente costoso y su aplicabilidad comercial está severamente restringida por periodos prolongados en cuanto a tiempo de procesamiento (Madene *et al.*, 2006).

2.2.3 Coacervación

La encapsulación por coacervación es la separación de fases de uno o más biopolímeros de una solución inicial por el efecto del cambio en la temperatura o en el pH, la adición de un compuesto no solvente o electrolito y la posterior deposición de la fase coacervada recién formada alrededor del bionutriente en el mismo medio de reacción. La coacervación se da mediante agitación constante en tres etapas principales que consisten en:

- a) etapa 1: en la solución se presentan tres fases inmiscibles: bionutriente, agente encapsulante y disolvente;
- b) etapa 2: la adsorción del coacervado alrededor del bionutriente y el recubrimiento líquido envuelve al bionutriente mezclando la fase de material de pared con la fase del disolvente;
- c) etapa 3: el agente encapsulante se solidifica térmicamente o por desolvatación.

Dependiendo del desarrollo en la formación de coacervados, estos pueden formar dos tipos, coacervados simples o complejos. El coacervado simple implica utilizar solamente un biopolímero con la adición de bionutrientes hidrófilos a la solución coloidal. El coacervado complejo se produce mezclando dos o más biopolímeros para formar una membrana alrededor del bionutriente. Durante la coacervación compleja, el bionutriente se agrega a la solución de manera que no reaccione ni se disuelva en agua

(solubilidad máxima 2%), por tanto, el bionutriente se encuentra disperso en la solución. El tamaño de partícula será definido por un parámetro de dispersión, que dependerá de la velocidad de agitación, la forma del agitador, la tensión superficial y la viscosidad. El intervalo de tamaño del coacervado puede variar entre 2 μm y 1200 μm . Con el cambio de pH comienza la coacervación de la dispersión; el resultado es una reducción de la solubilidad de las fases dispersas. Se ha evaluado una gran cantidad de materiales de pared para la encapsulación por coacervación, pero el sistema de recubrimiento más estudiado y mejor comprendido es probablemente el sistema gelatina/goma Arábiga (Timilsena *et al.*, 2020).

2.2.4 Emulsiónamiento

Otra técnica de encapsulación es la tecnología de emulsión, generalmente aplicada para la encapsulación de bionutrientes en soluciones acuosas, que pueden usarse directamente en estado líquido o pueden secarse para formar polvos después del emulsiónamiento. Básicamente, una emulsión consta de al menos dos líquidos inmiscibles de naturaleza química distinta, un material lipofílico y un material hidrofílico, donde uno de estos líquidos se dispersa como pequeñas gotas esféricas en el otro. Un sistema que consta de gotas de aceite dispersas en una fase acuosa se le conoce como emulsión aceite en agua (O/W), mientras que un sistema que consta de gotas de agua dispersas en una fase de aceite se le conoce como emulsión agua en aceite (W/O). Con la excepción de los sistemas simples O/W o W/O, se pueden desarrollar varios tipos de emulsiones múltiples, como aceite en agua en aceite (O/W/O) o agua en aceite en agua (W/O/W) (Yang *et al.*, 2020).

2.2.5 Gelificación iónica

La gelificación iónica se basa en la formación de una dispersión o emulsión que contiene al bionutriente, la cual posteriormente se inyecta en una solución que contiene una sustancia conocida como entrecruzante o reticuladora llevando al agente encapsulante o emulsionante (biopolímero) que se encuentra en la dispersión o emulsión a un proceso de gelificación. La ventaja en la formación, procesamiento y versatilidad de este modo de operación es que se evita el uso de temperaturas extremas que puedan afectar la estabilidad del bionutriente o del material de pared y además no se requieren tratamientos previos. El método de gelificación iónica se considera una alternativa competitiva para encapsular y proteger bionutrientes en comparación con técnicas de encapsulación como el secado por aspersión, la liofilización, el secado en lecho fluidizado y la coacervación. Entre los principales agentes encapsulantes utilizados en la gelificación iónica se encuentra el alginato de sodio que, con la adición de sales binarias como el calcio, se convierte en alginato de calcio, un compuesto insoluble en agua. El uso

de pectinas es otra posibilidad y se ha observado que las de bajo metoxilo promueven la formación de partículas de hidrogel con estructuras blandas y tienen aplicación en productos de un amplio rango de pH (Timilsena *et al.*, 2020).

2.2.6 Secado en lecho fluidificado

El recubrimiento por pulverización en lecho fluidificado se emplea para generar partículas aglomeradas a partir de micropartículas obtenidas mediante secado por aspersion que son muy finas y que conllevan a tener problemas en su manejo en los procesos industriales. Esta técnica de encapsulación consta de tres pasos: en primer lugar, las micropartículas a encapsular se fluidifican en una atmósfera caliente dentro de la cámara de secado; luego, el material de pared se pulveriza a través de una boquilla sobre las partículas y se inicia la formación de una película, seguida de una sucesión de etapas de humectación y secado. Las pequeñas gotas del líquido pulverizado se esparcen sobre la superficie de las partículas y se fusionan. Después, el disolvente o las mezclas se evaporan con aire caliente y el material de recubrimiento se adhiere a las micropartículas. El tamaño del producto varía de 0.3 a 10 mm (Timilsena *et al.*, 2020).

2.3 ECONOMÍA CIRCULAR

La economía circular puede entenderse como una economía industrial inspirada en fuentes naturales que son restauradas y regeneradas por diseño, desvinculando el crecimiento del consumo para permitir el desarrollo económico sostenible, reemplazando el concepto de "residuos" por el de "recursos", y de esta manera la vida útil de los productos aumenta para retener los materiales en su valor más alto dentro de los procesos de la economía durante el mayor tiempo posible haciendo uso de herramientas como el reciclaje, la reutilización, la reducción, la regeneración y el compostaje (Figura 1). Por lo tanto, se desacelera el flujo de materiales a través de la economía y se minimiza el consumo de recursos primarios mediante la adopción de principios de jerarquía de residuos. Para minimizar el consumo de recursos primarios y la pérdida de materiales de la economía, los materiales que no pueden retenerse dentro de los procesos productivos deben incorporarse en cascada a la producción de otros productos a través de una simbiosis industrial (Charles *et al.*, 2023).

Figura 1. Concepto de economía circular



Fuente: Propia

3 RESULTADOS Y DISCUSIONES

El mundo se encuentra en una encrucijada actualmente, se ha puesto una meta muy ambiciosa para el año 2030 que es poner fin al hambre, es decir, acabar completamente con el hambre y lograr la seguridad alimentaria para todo el mundo de manera que se tengan suficientes alimentos y de buena calidad para tener mayor bienestar y mejor salud. Esta tarea no es nada fácil, es por ello que tanto el sector agroindustrial como la industria de los alimentos requiere cambiar sus modelos productivos en los que tradicionalmente el flujo de recursos va en un solo sentido, conocido como economía lineal.

Hoy en día se debe tener una visión más amplia en todo aspecto y se debe estar consciente de que los recursos naturales utilizados en los procesos productivos alimentarios no son ilimitados, por el contrario, son finitos y que, con el aumento de la población mundial, la demanda crece exponencialmente con el peligro latente de que se puedan terminar en un futuro cercano. Derivado de la necesidad de emplear mayor cantidad de recursos naturales en los procesos, la contaminación en el planeta también ha ido incrementándose, por lo que, para atender estos dos problemas, el aspecto ambiental y la sostenibilidad, se ha generado un nuevo concepto llamado “economía circular”.

El concepto de economía circular es un enfoque relativamente nuevo para el funcionamiento de la economía. A diferencia del modelo lineal, el concepto de economía circular pone especial énfasis en el aspecto del valor del producto (que se conserva durante el mayor tiempo posible) y tiene como objetivo

armonizar la sociedad, el mercado, y el medio ambiente, con una visión ecológicamente correcta; para ello, fomenta el uso de recursos secundarios alternativos como material reciclado para la obtención de productos. Es por ello que la economía circular surge como una solución potencialmente viable y factible para apoyar y dar respuesta al logro del objetivo 2 de la agenda 2030 establecido por la ONU.

La economía circular en el quehacer cotidiano de la industria alimentaria es fundamental porque busca minimizar la generación de desperdicios biológicos y por consiguiente aprovechar al máximo los recursos naturales para optimizar los procesos de producción de alimentos procesados, además de que no solo contempla el enfoque ambiental, sino que también genera estrategias inteligentes para que los procesos productivos sean sostenibles y rentables económicamente.

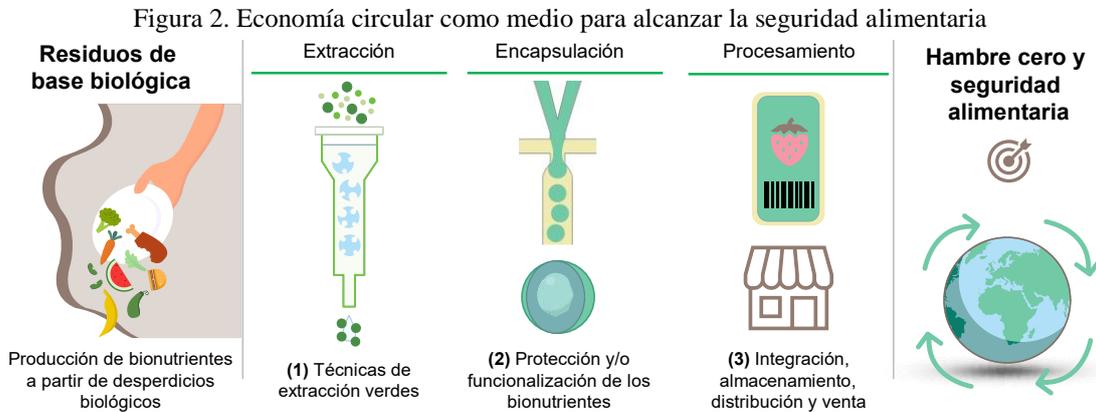
Al fomentar la reutilización y el reciclaje de recursos como el agua y la energía, o bien, generar nuevos insumos a partir de los desechos biológicos que inherentemente se forman durante los procesos productivos, se puede incrementar la cadena de valor de los productos alimentarios, ya que, la recuperación de alimentos resultante del uso de ciclos biológicos puede permitir una reducción del desperdicio de alimentos, limitar las cantidades excesivas de producción y redistribuir los productos alimenticios en la cadena de suministro.

Las posibles soluciones resultantes del concepto de economía circular que pueden permitir reducir las pérdidas y el desperdicio, tanto de insumos naturales como de alimentos procesados, pueden encontrarse a través de la reutilización, la recuperación, el cierre de ciclos, el compostaje de los residuos de alimentos, la reutilización para la alimentación animal, la producción de biomateriales (biopolímeros), la extracción de bionutrientes, etc. Los intentos de reducir el desperdicio de alimentos ya son visibles, entre otros, en el Reino Unido. En este país, la industria alimentaria se ha comprometido a reducir los residuos en un 20% entre 2015 y 2025, y a alcanzar cero emisiones de gases de efecto invernadero para 2050 (Kafel; Rudziński, 2024).

Particularmente en la producción de bionutrientes a partir de desperdicios biológicos se han establecido nuevas tecnologías de extracción, conocidas como técnicas de extracción verdes con la intención de reducir el consumo de energía, los efectos negativos en el medio ambiente, y el tiempo de extracción, así como mejorar la seguridad, aumentar la innovación y la competitividad y, en general, desarrollar procesos más sostenibles. Para lograrlo, se han propuesto una variedad de tecnologías innovadoras, incluida la extracción asistida por microondas, el ultrasonido, los campos eléctricos pulsados y los fluidos supercríticos, ya sea de forma individual o acoplado.

Por otra parte, al ser estos bionutrientes alimentos altamente sensibles a su deterioro por factores ambientales, es necesario protegerlos ante ambientes adversos para usarlos en procesos de fabricación de alimentos procesados, durante su almacenamiento, distribución y venta. Para ello se ha implementado la tecnología de encapsulación de bionutrientes con el objetivo de, no sólo brindar protección a estos

insumos, sino que también puedan ser adicionados en los procesos, que enmascaren malos olores y sabores, que pueden mezclarse con diferentes aditivos alimentarios y que, al ser consumidos, lleguen al sitio específico de digestión (Figura 2).



Fuente: Propia

4 CONCLUSIÓN

Garantizar la seguridad alimentaria mediante la elaboración de alimentos procesados saludables y de excelente calidad representa uno de los retos más ambiciosos para la humanidad. Para poder alcanzar este ODS, la economía circular es el instrumento más viable y factible que se puede emplear, ya que su precepto se enfoca en utilizar los desperdicios orgánicos generados por el sector industrial para ser reutilizados en la generación de nuevos insumos alimentarios conocidos como bionutrientes. El uso de nuevas tecnologías de extracción y procesamiento de alimentos (técnicas de extracción verdes y técnicas de encapsulación) se vuelve relevante en este sentido, ya que está encaminado a reducir tiempos de procesamiento, minimizar costos de producción y reducir la huella ambiental, de manera que la generación de alimentos procesados conlleve a procesos productivos sostenibles y sustentables con el ambiente y al mismo tiempo se fabriquen alimentos con alto valor nutricional.

REFERENCIAS

- Andrade-Avila, Y. Y., Cruz-Olivares, J., Pérez-Alonso, C., Ortiz-Estrada, C. H. & Chaparro-Mercado, M. C. (2017). Supercritical extraction process of allspice essential oil. *Journal of Chemistry*, 2017, 1-8. <https://doi.org/10.1155/2017/6471684>
- Ávila-Hernández, M. A., Pérez-Alonso, C., Orozco-Villafuerte, J., Barrera-Díaz, C. E., Erik Alpizar-Reyes, E. & Cruz-Olivares, J. (2022). Supercritical extraction of lyophilized strawberry anthocyanins with pulsed electric fields pretreatment. *Química Nova*, 45(6), 728-733. <http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20170849>
- Charles, R. G., Villalobos, K. V., Doolin, A., García-Rodríguez, R. & Davies, M. L. (2023). Circular economy for perovskite solar cells drivers, progress and challenges. *Energy & Environmental Science*, 16, 3711–3733. DOI: 10.1039/d3ee00841j
- Davila-Vidarte, D. J., Huangal-Castañeda, N. E., Gamarra-Uceda, H. A., Anaya-Morales, R. A. & Salazar-Bravo, W.A. (2024). Gestión de residuos sólidos y la sostenibilidad ambiental en Lambayeque. *South Florida Journal of Development*, 5(6), 1-16. DOI: 10.46932/sfjdv5n6-001
- Guterres, A. (2023). *The Sustainable Development Goals Report 2023: special edition*. United Nations. <https://digitallibrary.un.org/record/4016203?v=pdf> (fecha de acceso: 10 mayo 2024).
- Kafel, P. & Rudziński, K. (2024). The Importance of the circular economy concept among organizations within the food sector and a management systems perspective. *RSC Sustainability*, 16, 2912. <https://doi.org/10.3390/su16072912>
- Khadhraoui, B., Ummat, V., Tiwari, B. K., Fabiano-Tixier, A. S. & Chemat, F. (2021). Review of ultrasound combinations with hybrid and innovative techniques for extraction and processing of food and natural products. *Ultrasonics Sonochemistry*, 76, 105625. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105625>
- Loncaric, A., Celeiro, M., Jozinovic, A., Jelinic, J., Kovac, T., Jokic, S., Babic, J., Moslavac, T., Zavadlav, S. & Lores, M. (2020). Green extraction methods for extraction of polyphenolic compounds from blueberry pomace. *Foods*, 9, 1521. DOI:10.3390/foods9111521
- Madene, A., Jacquot, M., Scher, J. & Desobry, S. (2006). Flavour encapsulation and controlled release – a review. *International Journal of Food Science and Technology*, 41, 1–21. DOI:10.1111/j.1365-2621.2005.00980.x
- Picot-Allain, C., Mahomoodally, M. F., Ak, G. & Zengin, G. (2021). Conventional versus green extraction techniques — a comparative perspective. *Current Opinion in Food Science*, 34, 144–156. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2021.02.009>
- Priya, A. K., Alagumalai, A., Balaji, D. & Song, H. (2023). Bio-based agricultural products: a sustainable alternative to agrochemicals for promoting a circular economy. *RSC Sustainability*, 1, 746–762. DOI: 10.1039/d3su00075c
- Song, Z., Wei, X., Xie, M., Zhao, X., Sun, J., Mao, Y., Wang, X., y Wang, W. (2022). Study on the microwave extraction process and product distribution of essential oils from citrus peel. *Chemical Engineering and Processing – Process Intensification*, 171, 108726. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2021.108726>

- Timilsena, Y. P., Haque, M. A. & Adhikari, B. (2020). Encapsulation in the food industry: A brief historical overview to recent developments. *Food and Nutrition Sciences*, 11, 481-508. <https://doi.org/10.4236/fns.2020.116035>
- Usman, I., Hussain, M., Imran, A., Afzaal, M., Saeed, F., Javed, M., Afzal, A., Ashfaq, I., Al Jbawi, E. & Saewan, S. A. (2022). Traditional and innovative approaches for the extraction of bioactive compounds. *International Journal of Food Properties*, 25, 1215–1233. <https://doi.org/10.1080/10942912.2022.2074030>.
- Yang, M., Liang, Z., Wang, L., Qi, M., Luo, Z. & Li, L. (2020). Microencapsulation delivery system in food industry—challenge and the way forward. *Advances in Polymer Technology*, 2020, 7531810. <https://doi.org/10.1155/2020/7531810>
- Ye, Q., Georges, N. & Selomulya, C. (2018). Microencapsulation of active ingredients in functional foods: From research stage to commercial food products. *Trends in Food Science & Technology*, 78, 167-179. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.05.025>