

Tecnología de impresión 3D en la producción de alimentos: Una revisión sistemática de la literatura

3D printing technology in food production: A systematic literature review

Soledad Yalupalin-Sedano¹; Nelssi Gimena Chamorro-Díaz¹; Rossy Fiorella Huaman-Moran¹;
Christian Omar Larrea Cerna¹; David Callirgos Romero^{2*}

1 Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de Tayacaja Daniel Hernández Morillo, Tayacaja, Perú.

2 Facultad de Agronomía Eliseu Maciel, Universidad Federal de Pelotas, Pelotas, Río Grande del Sur, Brasil.

* Autor correspondiente: callirgosromerod@gmail.com (D. Callirgos Romero).

ORCID de los autores:

S. Yalupalin-Sedano: <https://orcid.org/0009-0003-6856-5059>

N. G. Chamorro-Díaz: <https://orcid.org/0009-0006-5111-0797>

R. F. Huaman-Moran: <https://orcid.org/0009-0003-1779-672X>

C. O. Larrea Cerna: <https://orcid.org/0009-0009-5402-7747>

D. Callirgos Romero: <https://orcid.org/0009-0004-7428-4154>

RESUMEN

La impresión 3D de alimentos es una tecnología innovadora con el potencial de transformar la industria alimentaria, al responder a desafíos como la creciente demanda global, la sostenibilidad ambiental y la necesidad de personalización nutricional. Para analizar este panorama, se realizó una revisión sistemática de la literatura (RSL) aplicando metodologías PICOC, PRISMA y el estudio bibliométrico, lo que permitió identificar y evaluar de manera rigurosa 117 artículos publicados en los últimos años. Los resultados evidencian que la impresión 3D facilita la creación de alimentos personalizados en textura, forma y composición, optimiza la incorporación de ingredientes funcionales como antioxidantes y probióticos, y contribuye a la reducción del desperdicio mediante el aprovechamiento de materias primas alternativas. Sin embargo, enfrenta limitaciones como los altos costos, la falta de estandarización de procesos y la escasa regulación en su implementación. La impresión 3D presenta un futuro prometedor como herramienta para la innovación y sostenibilidad alimentaria. Se recomienda que investigaciones futuras se centren en mejorar la viabilidad económica, las propiedades reológicas de las tintas comestibles y el establecimiento de marcos regulatorios claros, con el fin de impulsar su adopción a gran escala en la industria.

Palabras clave: impresión 3D; personalización nutricional; innovación tecnológica.

ABSTRACT

3D food printing is an innovative technology with the potential to transform the food industry by addressing challenges such as growing global demand, environmental sustainability, and the need for nutritional customization. To analyze this landscape, a systematic literature review (SLR) was conducted using PICOC, PRISMA, and Bibliometrix methodologies, which allowed for the rigorous identification and evaluation of 117 articles published in recent years. The results show that 3D printing facilitates the creation of foods that are personalized in texture, shape, and composition, optimizes the incorporation of functional ingredients such as antioxidants and probiotics, and contributes to waste reduction by utilizing alternative raw materials. However, it faces limitations such as high costs, lack of process standardization, and poor regulation in its implementation. 3D printing has a promising future as a tool for food innovation and sustainability. It is recommended that future research focus on improving economic viability, the rheological properties of edible inks, and the establishment of clear regulatory frameworks in order to promote its large-scale adoption in the industry.

Keywords: 3D printing; nutritional personalization; technological innovation.

Recibido: 10-04-2025.

Aceptado: 13-10-2025.



Esta obra está publicada bajo la licencia [CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

INTRODUCCIÓN

La industria alimentaria enfrenta desafíos significativos, como el crecimiento poblacional, la necesidad de reducir el desperdicio de alimentos y la búsqueda de dietas más saludables y sostenibles (Wang et al., 2024; Chao et al., 2024). Los métodos tradicionales de producción y procesamiento de alimentos generan un alto impacto ambiental (Zhang et al., 2024), mientras que la creciente demanda en la alimentación requiere soluciones innovadoras (Li et al., 2024). En este sentido, la impresión 3D se ha posicionado como una alternativa para transformar la forma en que se producen y consumen los alimentos (Chung et al., 2024).

La impresión 3D de alimentos permite la personalización de texturas, formas y composiciones nutricionales, ofreciendo soluciones adaptadas a necesidades específicas (Outrequin et al., 2024; Chao et al., 2024). Se ha demostrado que esta tecnología optimiza las propiedades físicas y funcionales de los alimentos (Wu et al., 2024), así como la mejora en textura y digestibilidad en productos con probióticos (Soleymani et al., 2024). Además, facilita la incorporación de ingredientes funcionales, como antioxidantes y compuestos bioactivos, abriendo la puerta a la creación de alimentos funcionales con beneficios para la salud (Li et al., 2024; Tian et al., 2024). Otro beneficio clave es la reducción del desperdicio alimentario, ya que la impresión 3D permite utilizar ingredientes subutilizados o transformar productos de desecho en nuevas formulaciones alimentarias (Krishna & Sankar, 2024).

En aplicaciones avanzadas, la bioimpresión 3D ha permitido el desarrollo de carne cultivada mediante la combinación de células musculares, grasas y proteínas para replicar la estructura de tejidos animales (Chao et al., 2024). Este enfoque representa una alternativa sostenible a la producción convencional de carne, reduciendo el impacto ambiental y ofreciendo productos con perfiles nutricionales personalizados (Kanwal et al., 2024). Asimismo, la modificación enzimática de almidones naturales ha mejorado sus propiedades fisicoquímicas (Mohamad et al., 2024), como viscosidad y retención de agua, haciendo que sean más adecuados como tintas comestibles para impresión 3D (Jiang et al., 2024).

Además, la impresión 3D se proyecta como una herramienta clave en la lucha contra la deficiencia alimentaria (Chen et al., 2024), al posibilitar la

producción de alimentos accesibles y adaptados a diversas necesidades nutricionales en regiones con acceso limitado a productos frescos (López-Camacho et al., 2024). A pesar de su potencial, es fundamental continuar investigando sus aspectos técnicos (Liao et al., 2024), económicos y regulatorios para lograr su adopción generalizada en la industria alimentaria (Kathirawan et al., 2024).

Por otro lado, la adopción de la impresión 3D en la industria alimentaria aún enfrenta desafíos técnicos, económicos y normativos (Muhammad et al., 2024). Entre los principales retos se encuentran el desarrollo de tintas alimentarias con propiedades reológicas adecuadas para la impresión, la estandarización de procesos y la viabilidad económica de la tecnología a gran escala (Niu et al., 2024). Además, es crucial comprender el efecto de los ingredientes clave en las formulaciones para garantizar la estabilidad estructural y sensorial de los productos impresos (Lee et al., 2024).

Para abordar estas cuestiones, la presente revisión sistemática de la literatura (RSL) se fundamenta en metodologías como PICOC, análisis bibliométrico y PRISMA, las cuales proporcionan un enfoque riguroso y estructurado para el análisis de la información disponible (Halba et al., 2023). La metodología PICOC permite definir con precisión los elementos esenciales de la revisión (Anwar et al., 2024), mientras que el análisis bibliométrico facilita un análisis cuantitativo detallado de la literatura (Ochoa et al., 2023), identificando tendencias y patrones emergentes en la investigación (Aria & Cuccurullo, 2017). PRISMA, por su parte, contribuye a mejorar la transparencia y reproducibilidad de los estudios, mediante una guía estandarizada para la presentación de resultados (Landschaft et al., 2024).

El objetivo principal de esta revisión es evaluar la evidencia existente sobre los beneficios, limitaciones y aplicaciones de la impresión 3D en la industria alimentaria, con un enfoque en su impacto en la personalización nutricional, la sostenibilidad y los desafíos técnicos y normativos asociados con su implementación a gran escala. A través de un análisis exhaustivo de estudios disponibles en bases de datos como Scopus, se busca proporcionar una visión integral de las oportunidades y retos que esta tecnología emergente presenta para el sector alimentario y su potencial contribución a la innovación en la producción de alimentos.

METODOLOGÍA

Se aplicaron tres metodologías complementarias: PICOC, análisis bibliométrico y criterios de inclusión y exclusión. La combinación de estas estrategias permitió delimitar y estructurar de manera rigurosa el tema del futuro de los alimentos con tecnología de impresión 3D. A continuación, se describe cada metodología en detalle.

2.1 PICOC

La Revisión Sistemática de la Literatura (RSL) se distingue de las revisiones narrativas tradicionales por su carácter replicable, científico y transparente

(Cevallos-Culqui et al., 2023). Para enmarcar esta revisión dentro del objetivo de investigación, se realizó inicialmente una búsqueda exploratoria en la base de datos Scopus sin aplicar filtros, lo que permitió identificar un total de 1,951 artículos. Posteriormente, con el propósito de refinar y focalizar la búsqueda de manera más específica, se empleó la metodología PICOC (Población, Intervención, Comparador, Resultado y Contexto). A partir de esta estrategia, se determinaron palabras clave derivadas de las respuestas a las siguientes preguntas:

Pregunta General:

Q1: ¿Cómo la impresión 3D, mejora las propiedades sensoriales y nutricionales de los alimentos personalizados en comparación con los métodos tradicionales de producción alimentaria?

Preguntas específicas:

EQ1: ¿Cómo impacta la adopción de la impresión 3D en la producción de alimentos personalizados en las empresas e industrias alimentarias, y qué ventajas se observan en términos de satisfacción de necesidades dietéticas específicas?

EQ2: ¿Qué efectos tiene el uso de la tecnología de impresión 3D en la producción de alimentos personalizados, en cuanto a la integración de probióticos, antioxidantes, vitaminas y la mejora de propiedades organolépticas y necesidades dietéticas específicas?

EQ3: ¿Cómo se compara la tecnología de impresión 3D en la creación de alimentos personalizados con los métodos tradicionales de producción, en términos de flexibilidad, calidad de los productos y personalización nutricional?

EQ4: ¿Qué mejoras en la calidad nutricional y sensorial de los alimentos se logran mediante la impresión 3D en comparación con los métodos tradicionales, y cómo estas mejoras impactan la aceptación por parte de los consumidores?

Ecuaciones y motores de búsqueda

Se empleó la base de datos Scopus, reconocida como la mayor base de datos multidisciplinaria disponible.

A continuación, se presentan las palabras clave utilizadas en la búsqueda, junto con los operadores booleanos (AND, NOT y OR) y el uso de términos entre comillas, con el fin de garantizar una búsqueda más sistemática, específica y eficiente (Tabla 1).

2.2 Criterios de inclusión y exclusión

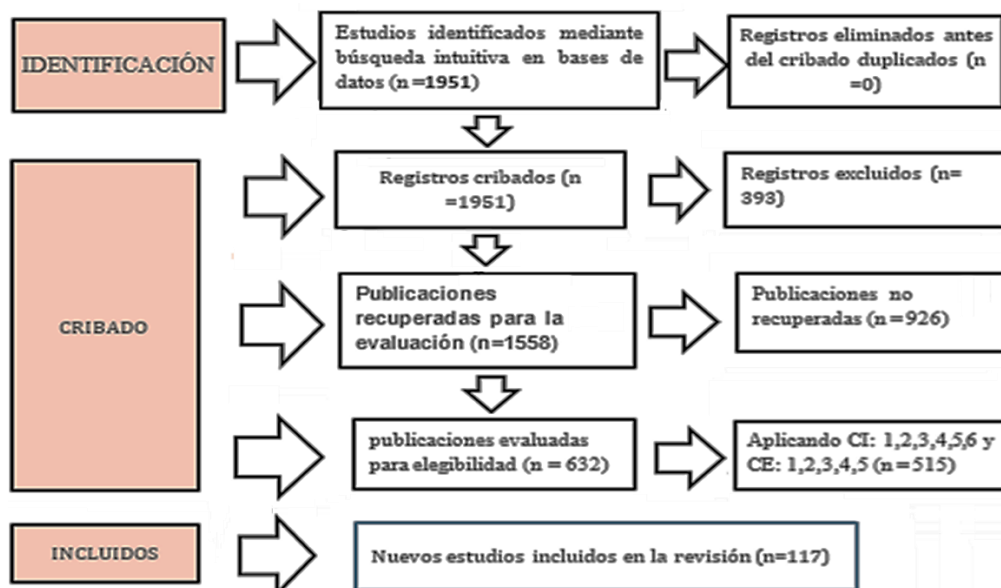
Después de realizar la búsqueda inicial en la base de datos de SCOPUS de manera intuitiva sin aplicar ningún tipo de filtro, se realizó la metodología de PICOC para finalmente realizar el diagrama PRISMA de manera sistemática usando los criterios de inclusión y exclusión para una búsqueda mucho más enfocada del tema elegido. Para esta investigación, se consideró como criterio número 1 de inclusión la búsqueda de artículos científicos de los últimos 5 años (2019-2024) para de esta manera tener información actualizada. En la Tabla 1 se muestran los 6 criterios de inclusión y 1 criterio de exclusión relacionado al tema de esta RSL.

Después de realizar una búsqueda minuciosa en la base de datos SCOPUS y con la ayuda del diagrama prisma con los filtros de criterios de inclusión y exclusión mostrados en la Tabla 1, resultó 1951 inicialmente, por ello en los registros cribados se sigue presentando 1951, aplicando metodología PICOC juntamente con los criterios de inclusión y exclusión: CI1, CI2, CI3, CI4, CI5, CI6, la misma manera los criterios de exclusión CE1, se tuvo como resultado 117 artículos para realizar la RSL tal como se muestra en la Figura 1.

Tabla 1

Ecuaciones de búsqueda

Base de datos	Palabras /Ecuación de búsqueda	Nro. de artículos
Scopus	("3D Printing" OR "Food" OR "Nutritional Personalization" OR "Sensory Personalization" OR "Key Ingredients" OR "Food Production") AND ("3D printing" OR "Food production" OR "Personalization" OR "Textures" OR "Organoleptic properties" OR "Probiotics" OR "Antioxidants" OR "Bioactive compounds") AND ("3D printing" OR "Food creation" OR "Traditional methods" OR "Food production" OR "Nutritional personalization" OR "Food textures" OR "Food structures" OR "Technology comparison") AND ("Food quality" OR "Nutritional customization" OR "Sensory properties" OR "Consumer acceptance" OR "Specific dietary needs" OR "Food intolerances" OR "Special diets") AND ("Technological innovation" OR "Food industry" OR "3D printing" OR "Food development" OR "Customization" OR "Functional properties" OR "Sensory experience")	613

**Figura 1.** Diagrama prisma.

Por otro lado, algunos nodos más pequeños, como "nanotecnología", "productos alimentarios" y "agricultura", aunque no tan destacados, indican un crecimiento emergente en el estudio de tecnologías avanzadas y sostenibilidad en la industria alimentaria

Del conjunto de artículos analizados China lidera con 26 publicaciones, seguida por India y Estados Unidos con 10 cada uno. Italia aporta 7 artículos, mientras que Australia contribuye con 6. España y Brasil registran 4 artículos cada uno, reflejando una presencia moderada. En cambio, países como Sudán, Francia, Taiwán, Costa Rica, Polonia y Arabia Saudita, entre otros, tienen una participación menor, con solo 1 artículo cada uno. Esta concentración de publicaciones en unos pocos países destaca el liderazgo de China, India y Estados Unidos en la producción académica, seguido por algunas naciones europeas y Australia, mientras que la contribución de otros países es más limitada.

3.2. Resultados de las preguntas formuladas con la metodología PICOC

Q1: ¿Cómo la impresión 3D mejora las propiedades sensoriales y nutricionales de los alimentos personalizados en comparación con los métodos tradicionales de producción alimentaria?

Para responder esta interrogante se identificaron 3 puntos importantes:

Personalización nutricional, mejoras sensoriales y optimización de los ingredientes en base a estos ítems se analizó los 117 artículos. La personalización nutricional en la tecnología de impresión 3D se centra en crear alimentos que se adapten a las necesidades dietéticas específicas de una persona. Por su parte, la ingeniería de alimentos aplica tecnologías avanzadas para modificar texturas, sabores y propiedades funcionales. Estudios como el de Zhang et al. (2021) sobre edición genética en cultivos y el de Smith et al. (2022) en impresión 3D de alimentos han demostrado cómo estas innovaciones contribuyen a la personalización alimentaria.

La combinación de la impresión 3D con la agricultura inteligente y la ingeniería de alimentos permite mejorar las propiedades sensoriales y nutricionales de los alimentos personalizados en comparación con los métodos tradicionales de producción (Schuler et al., 2024). Tradicionalmente, la formulación de alimentos funcionales se ha basado en la adición manual de ingredientes, la extrusión térmica o el moldeado mecánico, técnicas que, aunque efectivas, presentan limitaciones en la personalización nutricional y la optimización de texturas.

Schuler et al. (2024) destacan que la impresión 3D permite una integración más precisa de ingredientes funcionales, como omega-3, mejorando tanto el perfil nutricional como la aceptabilidad sensorial. En comparación, los métodos convencionales de fortificación suelen generar problemas de estabilidad o afectar la textura y el sabor del

producto final. De manera similar, Yang et al. (2024) señalan que el uso de inulina en alimentos impresos optimiza la cohesión estructural, superando las limitaciones de los espesantes tradicionales, que pueden afectar la calidad organoléptica del alimento.

En este contexto, la agricultura inteligente complementa la impresión 3D al optimizar la producción de ingredientes con características específicas, como mayor contenido de compuestos bioactivos o mejor perfil de almidones y proteínas. Esto representa una mejora respecto a los cultivos convencionales, que no siempre garantizan la uniformidad en la materia prima utilizada en la formulación de alimentos personalizados.

Además, tecnologías emergentes en ingeniería de alimentos, como el uso de ultrasonido y calentamiento óhmico, han demostrado ser estrategias efectivas para mejorar la retención de nutrientes y la estabilidad sensorial de los alimentos impresos (Schuler et al., 2024; Gultekin, 2024). A diferencia de los procesos térmicos tradicionales, que pueden degradar compuestos sensibles, estas innovaciones permiten conservar mejor los perfiles nutricionales y sensoriales del producto.

Sungatullina et al. (2024) y Zhu et al. (2024) han demostrado que la incorporación de lactobacilos y gomas específicas en alimentos impresos en 3D mejora la funcionalidad y reología de las formulaciones, un desafío común en métodos tradicionales como la panificación o el extrusionado. De igual manera, Chen et al. (2024) y Fico et al. (2024) destacan que la impresión 3D, junto con ingredientes optimizados, ha permitido mejorar la conservación de propiedades sensoriales en productos como el cacao, en contraste con los métodos de procesamiento convencionales que pueden alterar su sabor y textura.

En cuanto a la bioimpresión 3D, esta representa un avance significativo en la producción de alimentos personalizados basados en células. Por ejemplo, carnes bioimpresas con tintas de grasas vegetales pueden imitarla estructura y textura de un filete de salmón con mayor precisión que los métodos tradicionales de reestructuración cárnica, que dependen de aditivos y procesos mecánicos con limitaciones en fidelidad y composición nutricional (Schuler et al., 2024).

En conclusión, los resultados obtenidos evidencian que la impresión 3D de alimentos presenta ventajas significativas en comparación con los métodos tradicionales, especialmente en términos de personalización nutricional, estabilidad estructural y calidad sensorial. Como se muestra en la Tabla 2, la impresión 3D permite una integración precisa de nutrientes en comparación con la fortificación manual y los procesos térmicos convencionales. Además, su capacidad para mantener el sabor y aroma de los alimentos funcionales, así como la aplicación de recubrimientos comestibles para prolongar la vida útil, refuerzan su potencial como una alternativa innovadora en la producción de alimentos.

Tabla 2
Comparación de los métodos tradicionales con la impresión 3D

Aspecto	Métodos Tradicionales	Impresión 3D	Referencia
Personalización nutricional	Fortificación manual con baja estabilidad.	Integración precisa de nutrientes	(Schuler et al., 2024)
Textura y estabilidad	Extrusión y moldeado con cohesión limitada.	Uso de inulina y gomas para mejorar estructura	(Yang et al., 2024)
Retención de nutrientes	Procesos térmicos que degradan compuestos bioactivos.	Procesos térmicos degradan compuestos bioactivos.	(Kaur et al., 2020)
Sabor y aceptación	Procesos que pueden alterar propiedades sensoriales.	Mantiene sabor y aroma en alimentos funcionales	(Fico et al., 2024)
Eficiencia y sostenibilidad	Producción con mayor desperdicio.	Recubrimientos comestibles prolongan vida útil	(Aouadi et al., 2020)
Proteínas alternativas	Métodos mecánicos con aditivos.	Bioimpresión con tintas vegetales imita mejor la carne	(Liu et al., 2025)

EQ1: ¿Cómo impacta la adopción de la impresión 3D en la producción de alimentos personalizados en las empresas e industrias alimentarias, y qué ventajas se observan en términos de satisfacción de necesidades dietéticas específicas?

Se consideró 3 ítems importantes las cuales son: personalización masiva, precisión en la formulación nutricional y mejora de la experiencia del consumidor en base a estos puntos se analizó los 119 artículos. En personalización masiva la impresión 3D permite obtener productos personalizados dirigidos a personas que están limitadas al consumo de carbohidratos y azúcares, al obtener un producto mejor sensorialmente con una textura mejor que el tradicional, es una gran ventaja ya que se reduce costos de producción también.

La adopción de la impresión 3D en la industria alimentaria ha demostrado ser una herramienta clave para la creación de alimentos personalizados que satisfacen necesidades dietéticas específicas. Según Dancausa & Millán (2024), esta tecnología permite ajustar la composición nutricional de los productos, facilitando su adaptación a distintos requerimientos alimentarios. Schuler et al. (2024) destacan que la impresión 3D posibilita la personalización masiva mediante estructuras ajustables en contenido proteico, lipídico y de fibra.

Un ejemplo es el estudio de Zhu et al. (2024), donde se formuló un alimento específico para personas mayores con disfagia, mejorando su textura y facilidad de consumo. Schuler et al. (2024) y Yang et al. (2024), demostraron que el uso de inulina y otras fibras en alimentos impresos optimiza la estabilidad y el control nutricional, facilitando su consumo por personas con requerimientos digestivos especiales. Asimismo, Gultekin et al. (2024) evidenciaron que la aplicación de ultrasonido en impresión 3D ajusta perfiles proteicos, beneficiando a quienes necesitan dietas altas en proteínas.

Tabla 3
Alimentos impresos en 3D

Grupo poblacional	Ejemplo de alimento impreso en 3D	Objetivo nutricional	Referencia
Personas mayores con disfagia	Alimentos de textura adaptada con inulina	Facilitar consumo y digestión	Muhammad et al. (2024)
Deportistas	Barras proteicas con perfil ajustado	Aumentar ingesta proteica	Niu et al. (2024)
Personas con dietas bajas en carne	Bioimpresión de carne vegetal	Alternativa a proteínas animales	Lee et al. (2024)
Público general	Fideos con fibra y proteínas	Alimentación balanceada y saludable	López-Camacho et al. (2024)
Consumidores de probióticos	Kéfir impreso en 3D	Mejora de la microbiota intestinal	Gavahian et al. (2024)

Yilmaz et al. (2024) resaltaron que la optimización de gelificantes mejora la calidad sensorial, aumentando la aceptación de alimentos funcionales personalizados. En esta línea, Chen et al. (2024) señalaron que la impresión 4D potencia el disfrute sensorial y Fico et al. (2024) subrayaron la innovación como un factor clave en la adopción de estos productos.

Ejemplos concretos incluyen el desarrollo de fideos a base de pechuga de pollo enriquecidos con salvado de avena y harina de konjac, los cuales aumentan el contenido de fibra y proteínas. Sin embargo, se identificó un límite en su formulación, ya que un exceso de harina de konjac (>4%) afecta negativamente la textura (Liu et al., 2025).

Por otro lado, la bioimpresión 3D ha permitido la creación de alimentos basados en células que replican estructuras completas de carne, incluyendo músculo, grasa y tejido conectivo. Las tintas bioempresas formuladas con aceites vegetales (girasol, colza, oliva) y proteínas vegetales (soja, Carragenina) ofrecen alternativas funcionales para dietas bajas en carne animal y con alto contenido de ácidos grasos saludables.

Además, la impresión 3D aplicada a alimentos fermentados como el kéfir ha abierto nuevas oportunidades para aumentar el consumo de probióticos, adaptando su presentación a diferentes preferencias de los consumidores. Esto mejora la aceptación del producto, facilitando su incorporación en dietas con necesidades digestivas específicas.

Los resultados resaltan el potencial de la impresión 3D en la formulación de alimentos personalizados para diferentes grupos poblacionales con necesidades nutricionales específicas. Como se observa en la Tabla 3, esta tecnología permite la creación de alimentos adaptados, como productos con texturas modificadas para personas mayores con disfagia, barras proteicas para deportistas y vegetales alternativos para quienes siguen dietas bajas en carne.

Además, su aplicación en la producción de fideos enriquecidos con fibra y proteínas, así como en la bioimpresión de kéfir para mejorar el microbiota intestinal, demuestra su capacidad para promover una alimentación más saludable y funcional.

EQ2: ¿Qué efectos tiene el uso de la tecnología de impresión 3D en la producción de alimentos personalizados, en cuanto a la integración de probióticos, antioxidantes, vitaminas y la mejora de propiedades organolépticas y necesidades dietéticas específicas?

La impresión 3D de alimentos, junto con tecnologías emergentes como el ultrasonido, el plasma frío y el calentamiento óhmico, ha revolucionado la producción de alimentos personalizados. Estas innovaciones permiten no solo la integración de nutrientes funcionales como probióticos, antioxidantes y vitaminas, sino también la optimización de propiedades organolépticas y texturales que mejoran la experiencia sensorial y la aceptación del consumidor (Schuler et al., 2024).

Diversos estudios exploran cómo estas tecnologías transforman el procesamiento de ingredientes y potencian el desarrollo de productos más sostenibles y nutritivos. Gavahian (2024) destaca que el uso de plasma frío y campo eléctrico pulsado ayuda a preservar los nutrientes en alimentos personalizados. Por su parte, Gultekin et al. (2024) indican que el ultrasonido facilita la extracción y modificación de proteínas vegetales, lo cual es crucial para desarrollar perfiles de nutrientes personalizados y mejorar la textura y el sabor en análogos de carne de origen vegetal, incrementando así la sostenibilidad y eficiencia en el uso de recursos. Asimismo, Wang et al. (2024) aporta que el tratamiento ultrasónico modifica las

propiedades fisicoquímicas del almidón, como en la sopa de dumplings, reduciendo su dureza y masticabilidad y mejorando la transparencia. Estos cambios se traducen en una experiencia sensorial mejorada y una optimización de los ingredientes para productos alimenticios personalizados (Thapa et al., 2023).

El uso de la tecnología de impresión 3D en la producción de alimentos personalizados permite la integración eficiente de probióticos, antioxidantes, vitaminas y la mejora de propiedades organolépticas y texturales así lo menciona (Pesic et al., 2023). Los estudios destacan varias aplicaciones innovadoras.

Betaína: La impresión 3D es efectiva para enriquecer snacks a base de avena con betaína, conservando mejor su contenido mediante técnicas de secado al vacío y fritura al aire, aunque el nivel de relleno y la técnica de posprocesamiento afectan la calidad final y la preservación de nutrientes (Rados et al., 2023)

Harina de mocaf y latoh: La sustitución parcial del trigo con harina de mocaf y latoh mejoró el contenido proteico y de aminoácidos esenciales, además de proporcionar características sensoriales atractivas en los fideos enriquecidos (Wahjuningsih et al., 2023)

Antioxidantes en bollos de frijol: La impresión 3D combinada con el trigo sarraceno demostró ser eficaz para mejorar las propiedades antioxidantes y la textura de alimentos para personas con disfagia (Du et al., 2023). La impresión 3D representa un enfoque prometedor para producir alimentos personalizados con mejoras significativas en el contenido nutricional, las propiedades sensoriales y la funcionalidad, adaptándose a necesidades específicas del consumidor (Figura 4).

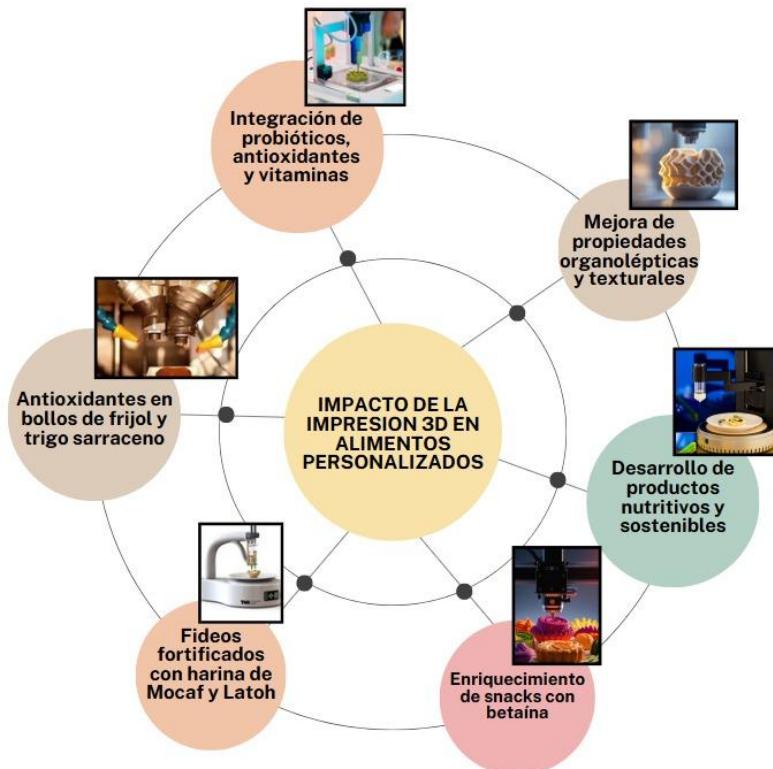


Figura 4. Impacto de la impresión 3D.

EQ3: ¿Cómo se compara la tecnología de impresión 3D en la creación de alimentos personalizados con los métodos tradicionales de producción, en términos de flexibilidad, calidad de los productos y personalización nutricional?

La impresión 3D en alimentos abre nuevas posibilidades para la creación de productos personalizados que responden a necesidades nutricionales específicas. A diferencia de los métodos tradicionales, esta tecnología permite ajustar la composición de nutrientes, como proteínas, fibras y compuestos bioactivos, con una precisión que incrementa la flexibilidad y calidad del producto final. Esta capacidad de personalización masiva y la optimización de propiedades sensoriales diferencian a la impresión 3D de los métodos convencionales, promoviendo productos que pueden satisfacer tanto las expectativas dietéticas como las sensoriales de los consumidores (Wang et al., 2024 y Yahya et al., 2024).

La impresión 3D en la producción de alimentos personalizados se distingue de los métodos tradicionales por su alta flexibilidad, entendida como la capacidad para modificar formulaciones y estructuras de los productos en función de necesidades específicas sin alterar significativamente el proceso productivo. Liu et al. (2025) demuestran que la impresión 3D facilita la incorporación controlada de ingredientes como salvado de avena y harina de konjac, permitiendo diseñar alimentos con perfiles nutricionales ajustados en proteínas y fibra. Este nivel de precisión no es fácilmente alcanzable con técnicas convencionales como la extrusión o el horneado.

En términos de calidad del producto, la impresión 3D impacta en aspectos físicos, sensoriales y nutricionales. Por ejemplo, Wang et al. (2024) destacan que la modificación de concentraciones de 6-gingerol en albóndigas de cordero impresas en 3D mejora su estabilidad y calidad textural, favoreciendo su frescura y aceptación sensorial. Adicionalmente, Yahya et al. (2024) evidencian que la aplicación de pretratamientos con zumo de limón optimiza la textura y preserva nutrientes clave como la vitamina C y compuestos fenólicos, lo que indica que la combinación de impresión 3D con ingredientes funcionales puede potenciar la estabilidad y valor nutricional de los productos.

En lo que respecta a la personalización nutricional, Schuler et al. (2024) señalan que la impresión 3D permite ajustar composiciones de macronutrientes según necesidades específicas. Esto se observa en la formulación de galletas funcionales con proteínas vegetales y fibra dietética, optimizando su digestibilidad y beneficios nutricionales. Además, Zhu et al. (2024) destacan su aplicación en la creación de alimentos para personas mayores con disfagia, mejorando la textura sin comprometer el contenido nutricional.

En conclusión, la impresión 3D supera a los métodos tradicionales en flexibilidad, al permitir ajustes rápidos en ingredientes y estructura; en calidad del producto, al mejorar estabilidad, textura y valor nutricional; y en personalización nutricional, al desarrollar alimentos adaptados a necesidades dietéticas específicas sin alterar sus propiedades sensoriales.

EQ4: ¿Qué mejoras en la calidad nutricional y sensorial de los alimentos se logran mediante la impresión 3D en comparación con los métodos tradicionales, y cómo estas mejoras impactan la aceptación por parte de los consumidores?

La tecnología de impresión 3D en alimentos no solo permite una personalización detallada, sino que también mejora las cualidades sensoriales y nutricionales en comparación con los métodos tradicionales. Estas mejoras tienen el potencial de incrementar la aceptación de los productos, especialmente entre consumidores que valoran la sostenibilidad y la funcionalidad de sus alimentos. Este avance es particularmente relevante en un contexto de creciente interés por alimentos saludables y con menor impacto ambiental (Gultekin et al., 2024 y Parrenin et al., 2024).

La impresión 3D de alimentos ofrece mejoras significativas en la calidad nutricional y sensorial en comparación con los métodos tradicionales. En términos de calidad nutricional, Yang et al. (2021) demostraron que el uso de proteína de leche en geles impresos en 3D permite ajustar la composición estructural del producto, mejorando su valor proteico sin comprometer su estabilidad. Riantiningtyas et al. (2021) evidenciaron que la impresión 3D permite la formulación de postres ricos en proteínas, optimizando la distribución de nutrientes y garantizando una mejor absorción en comparación con postres convencionales.

En cuanto a calidad sensorial, Strother et al. (2020) compararon zanahorias impresas en 3D con las moldeadas, destacando que la impresión 3D permite modificar la textura y estructura para lograr productos con mejor aceptación y apariencia atractiva. Asimismo, Kaur et al. (2020) demostraron que la impresión 3D, al ajustar parámetros como el grado de molienda y desengrasado del salvado de arroz, permite obtener alimentos sin gluten con mejor textura y características funcionales.

El impacto en la aceptación del consumidor radica en la posibilidad de diseñar alimentos que no solo cumplan con requerimientos nutricionales específicos, sino que también presenten texturas, formas y sabores personalizados. Esto resulta clave en el desarrollo de alimentos dirigidos a poblaciones con necesidades especiales, como adultos mayores con disfagia o consumidores que buscan opciones ricas en proteínas y fibra sin comprometer la experiencia sensorial (Riantiningtyas et al., 2021; Yang et al., 2021).

CONCLUSIONES

La impresión 3D de alimentos está emergiendo como una tecnología revolucionaria con el potencial de transformar la industria alimentaria.

Esta revisión sistemática de la literatura ha revelado un panorama prometedor, donde la impresión 3D ofrece soluciones innovadoras para

abordar desafíos cruciales como la creciente demanda alimentaria, la sostenibilidad ambiental y la personalización nutricional.

La impresión 3D permite la creación de alimentos personalizados, adaptando la forma, textura, sabor y composición nutricional a las necesidades individuales, incluyendo dietas especiales y preferencias. Además, la tecnología ofrece la posibilidad de reducir el desperdicio alimentario, optimizar la producción y desarrollar productos más sostenibles, como la carne cultivada. La impresión 3D impulsa la innovación en la industria alimentaria, abriendo nuevas posibilidades para la creación de productos con propiedades mejoradas, como la incorporación de compuestos bioactivos y la optimización de las propiedades de los almidones. También facilita la incorporación de ingredientes beneficiosos, como los probióticos, mejorando la salud intestinal y la experiencia alimentaria.

Sin embargo, existen desafíos que deben abordarse. El costo de los equipos y la falta de estandarización siguen siendo barreras importantes para la adopción de la impresión 3D en la industria alimentaria. Se requiere investigación adicional para optimizar las propiedades reológicas de las tintas y desarrollar procesos de impresión más eficientes y escalables. La falta de regulaciones claras para la impresión 3D de alimentos puede dificultar su implementación a gran escala.

A pesar de estos desafíos, la impresión 3D de alimentos tiene un potencial enorme para revolucionar el futuro de la alimentación. Se espera que la investigación y el desarrollo continuo conduzcan a una mayor accesibilidad, eficiencia y sostenibilidad en la producción y el consumo de alimentos. La colaboración entre científicos, tecnólogos y la industria alimentaria será crucial para superar las barreras existentes y aprovechar al máximo las oportunidades que ofrece esta tecnología.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agrawal, S., Oza, P., Kakkar, R., Tanwar, S., Jetani, V., Undhad, J., & Singh, A. (2024). Analysis and recommendation system-based on PRISMA checklist to write systematic review. *Assessing Writing*, 61, 100866. <https://doi.org/10.1016/j.asw.2024.100866>
- Ammar, A., Howladar, S. M., Siddeeg, A., Refai, M. Y., Aqlan, F. M., Afifi, M., & Ali, H. A. (2020b). Effect of the addition of alhydwan flour on the physicochemical, functional properties and microstructure of wheat bread. *Journal Of Food Measurement & Characterization*, 14(5), 2907-2916. <https://doi.org/10.1007/s11694-020-00535-9>
- Anwar, M. A., Suprihatin, N., Sasongko, N. A., Najib, M., & Pranoto, B. (2024). Challenges and prospects of multilayer plastic waste management in several countries: A Systematic Literature Review. *Case Studies In Chemical And Environmental Engineering*, 100911. <https://doi.org/10.1016/j.csee.2024.100911>
- Aouadi, B., Zaukuu, J. Z., Vitális, F., Bodor, Z., Fehér, O., Gillay, Z., Bazar, G., & Kovacs, Z. (2020). Historical Evolution and Food Control Achievements of Near Infrared Spectroscopy, Electronic Nose, and Electronic Tongue—Critical Overview. *Sensors*, 20(19), 5479. <https://doi.org/10.3390/s20195479>
- Aouadi, B., Zaukuu, J., Vitális, F., Fehér, O., Gillay, Z., Bazar, J., & Kovacs, Z. (2020). Historical Evolution and Food Control Achievements of Near Infrared Spectroscopy, Electronic Nose, and Electronic Tongue—Critical Overview. *Sensors*, 20 (19). 10.3390/s20195479
- Aragón, C. L. M. (2022). Una revisión sistemática de la literatura del aprendizaje organizacional y el desempeño. *Visión De Futuro*, 27(1), 1–23. <https://doi.org/10.36995/v.visiondefuturo.2023.27.01.001.es>
- Aria, M., & Cuccurullo, C. (2017d). Bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal Of Informetrics*, 11(4), 959-975. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>
- Cevallos-Culqui, A., Pons, C., & Rodríguez, G. (2023). Semi-supervised learning models for document classification: A systematic review and meta-analysis. *Inteligencia Artificial*, 26(72), 81–111. <https://doi.org/10.4114/intartif.vol26iss72pp81-111>
- Chao, C., Nam, H. K., Park, H. J., & Kim, H. W. (2024). Potentials of 3D printing in nutritional and textural customization of personalized food for elderly with dysphagia. *Applied Biological Chemistry*, 67(1). <https://doi.org/10.1186/s13765-023-00854-7>
- Chao, E., Yan, X., & Fan, L. (2024). Fabrication of edible inks for 3D printing as a dysphagia food: A emerging application of bigels. *Food Hydrocolloids*, 110463. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2024.110463>
- Chen, B., Huang, J., Liu, Y., Liu, H., Zhao, Y., & Wang, J. J. (2021). Effects of the curcumin-mediated photodynamic inactivation on the quality of cooked oysters with *Vibrio parahaemolyticus* during storage at different temperature. *International Journal of Food Microbiology*, 345, 109152. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2021.109152>
- Chen, G., Song, Y., Zhang, H., Sun, Y., Zeng, D., Cheng, Z., & Yan, B. (2024). Characteristics of pollutant generation from 3D-printed photocured waste combustion. *Waste Management*, 187, 61–69. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2024.07.010>
- Cheng, Y., Yuqing, H., Xiao, L., Gao, W., Kang, X., Sui, J., & Cui, B. (2024). Impact of starch amylose and amylopectin on the rheological and 3D printing properties of corn starch. *International Journal of Biological Macromolecules*, 278, 134403. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.134403>
- Costello, C., Oveysi, Z., Dundar, B., & McGarvey, R. (2021). Assessment of the Effect of Urban Agriculture on Achieving a Localized Food System Centered on Chicago, IL Using Robust Optimization. *Environmental Science & Technology*, 55(4), 2684-2694. <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c04118>
- Dancausa Millán, M. G., & Millán Vázquez De La Torre, M. G. (2024). 3D food printing: Technological advances, personalization and future challenges in the food industry. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 37, 100963. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2024.100963>
- Davis, K. F., Downs, S., & Gephart, J. A. (2020b). Towards food supply chain resilience to environmental shocks. *Nature Food*, 2(1), 54-65. <https://doi.org/10.1038/s43016-020-00196-3>
- Devra, R. S., Srivastava, N., Vadali, M., & Arora, A. (2024). Recycling, thermophysical characterisation and assessment of low-density polythene waste as feedstock for 3D printing. *Materials Today Sustainability*, 100949. <https://doi.org/10.1016/j.mtsust.2024.100949>
- Du, Y., Tang, T., Zhang, M., Mujumdar, A. S., Phuhongsung, P., & Yu, D. (2023). Double-nozzle 3D -printed bean paste buns: Effect of filling ratio and microwave heating time. *Journal of Texture Studies*, 54(5), 671-680. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12765>
- Feng, L., Xu, Y., Xiao, Y., Song, J., Li, D., Zhang, Z., Liu, C., Liu, C., Jiang, N., Zhang, M., & Zhou, C. (2020). Effects of pre-drying treatments combined with explosion puffing drying on the physicochemical properties, antioxidant activities and flavor characteristics of apples. *Food Chemistry*, 338, 128015. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128015>
- Freville, E., Sergienko, J. P., Mujica, R., Rey, C., & Bras, J. (2024). Novel technologies for producing tridimensional cellulosic materials for packaging: A review. *Carbohydrate Polymers*, 342, 122413. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2024.122413>
- Gavahian, M. (2024). Opinion on the prospects of emerging food processing technologies to achieve sustainability in the industry by reduced energy consumption, waste reduction and valorisation, and improved food nutrition. *International Journal of Food Science & Technology*, 59(11), 8135-8140. <https://doi.org/10.1111/ijfs.17525>
- Halba, K., Griffor, E., Lbath, A., & Dahbura, A. (2023). IoT Capabilities Composition and Decomposition: A Systematic Review. *IEEE Access*, 11, 29959-30007. <https://doi.org/10.1109/access.2023.3260182>
- Haynes, E., Bhagtani, D., Iese, V., Brown, C., Fesaitu, J., Hambleton, I., Badrie, N., Kroll, F., Guell, C., Brugulat-Panes, A., Ville, A. S., Benjamin-Neelon, S., Foley, L., Samuels, T., Wairiu, M.,

- Forouhi, N., Unwin, N., & Team, N. o. B. o. T. C. F. A. H. (2020). Food Sources and Dietary Quality in Small Island Developing States: Development of Methods and Policy Relevant Novel Survey Data from the Pacific and Caribbean. *Nutrients*, 12(11), 3350. <https://doi.org/10.3390/nu12113350>
- Huang, J., Zhang, M., Mujumdar, A. S., Wang, Y., & Li, C. (2024c). Improvement of 3D printing age-friendly brown rice food on rough texture, swallowability, and *in vitro* digestibility using fermentation characteristics of different probiotics. *Food Chemistry*, 460, 140701. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.140701>
- Jiang, Q., Chen, K., Cai, Z., Li, Y., & Zhang, H. (2024). Phase inversion of regulable bigels co-stabilized by *Chlorella pyrenoidosa* protein and beeswax: In-vitro digestion and food 3D printing. *International Journal of Biological Macromolecules*, 134540. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.134540>
- Kaminaries, S., Scordobeki, A., Zoidou, E., & Moatsou, G. (2019). Biochemical characteristics of reduced-fat cheese made from high-heat treated goat's milk supplemented with *Penicillium candidum*. *Journal of the Hellenic Veterinary Medical Society*, 70(3), 1669. <https://doi.org/10.12681/jhvms.21791>
- Kanwal, N., Zhang, M., Zeb, M., Batool, U., Khan, I., & Rui, L. (2024). From Plate to Palate: Sustainable Solutions for Upcycling Food Waste in Restaurants and Catering. *Trends In Food Science & Technology*, 104687. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2024.104687>
- Kathirawan, K., Mohamad, S., & Raoov, M. (2024). 3D-integrated membrane protected micro-solid-phase extraction of sulfonamides in food samples: An innovative approach. *Microchemical Journal*, 111204. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2024.111204>
- Kaur, A., Viridi, A. S., Singh, N., Singh, A., & Kaler, R. S. S. (2020). Effect of degree of milling and defatting on proximate composition, functional and texture characteristics of gluten-free muffin of bran of long-grain indica rice cultivars. *Food Chemistry*, 345, 128861. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128861>
- Klerks, M., Bernal, M. J., Roman, S., Bodenstab, S., Gil, A., & Sanchez-Siles, L. M. (2019). Infant Cereals: Current Status, Challenges, and Future Opportunities for Whole Grains. *Nutrients*, 11(2), 473. <https://doi.org/10.3390/nu11020473>
- Krishna, D. V., & Sankar, M. R. (2024). Synthesis and characterization of SiO₂ nanoparticles reinforced 3D printable gelatin/PVA/guar gum/ hydroxypropyl methylcellulose-based biocomposite hydrogel. *Industrial Crops and Products*, 218, 118977. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2024.118977>
- Landschaft, A., Antweiler, D., Mackay, S., Kugler, S., Rüping, S., Wrobel, S., Höres, T., & Allende-Cid, H. (2024). Implementation and evaluation of an additional GPT-4-based reviewer in PRISMA-based medical systematic literature reviews. *International Journal of Medical Informatics*, 189, 105531. <https://doi.org/10.1016/j.ijmedinf.2024.105531>
- Lee, C. P., Ng, M. J. Y., Chian, N. M. Y., & Hashimoto, M. (2024). Multi-material Direct Ink Writing 3D Food Printing using Multi-channel Nozzle. *Future Foods*, 10, 100376. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2024.100376>
- Li, C., Zhu, J., Qiao, S., Yang, Y., Dai, H., Chen, H., Ma, L., Zhang, Y., & Wang, H. (2025). Oil-water interfacial dual-phase synergistic adsorption of capsanthin-cyanophycin in gelatin based high internal phase emulsions for multi-nozzle 3D printing. *Food Hydrocolloids*, 158, 110493. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2024.110493>
- Li, G., Wang, B., Lv, W., Yang, L., & Xiao, H. (2024). Effect of κ-carrageenan on physicochemical and 3D printing properties of walnut protein-stabilized emulsion gel. *Food Hydrocolloids*, 156, 110288. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2024.110288>
- Li, Z., Zhang, L., Shan, Y., Zhao, Y., Dai, L., Wang, Y., Sun, Q., McClements, D. J., Cheng, Y., & Xu, X. (2024). Fabrication of high internal phase emulsions (HIPEs) using pea protein isolate-hyaluronic acid-tannic acid complexes: Application of curcumin-loaded HIPEs as edible inks for 3D food printing. *Food Chemistry*, 460, 140402. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.140402>
- Liao, G., Sun, E., Kana, E. G., Huang, H., Sanusi, I. A., Qu, P., Jin, H., Liu, J., & Shuai, L. (2024). Renewable hemicellulose-based materials for value-added applications. *Carbohydrate Polymers*, 341, 122351. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2024.122351>
- literature review and meta-analysis for environmental science research. *MethodsX*, 7, 100777. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2019.100777>
- Liu, Y., Chen, K., Zeng, Q., Wang, P., & Zhang, Y. (2025). The impact of dietary fibers on the construction and molecular network of extrusion-based 3D-printed chicken noodles: Unlocking the potential of specialized functional food. *Food Chemistry*, 463, 141065. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.141065>
- López-Camacho, A., Grande, M. J., Carazo-Álvarez, D., & La Rubia, M. (2024). Antiviral properties of polylactic acid and nano-TiO₂ for 3D printing. *Materials Letters*, 137039. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2024.137039>
- Lv, X., Huang, Y., Hu, M., Wang, Y., Dai, D., Ma, L., Zhang, Y., & Dai, H. (2024). Recent advances in nanocellulose based hydrogels: Preparation strategy, typical properties and food application. *International Journal of Biological Macromolecules*, 277, 134015. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.134015>
- McClements, D. J., Barrangou, R., Hill, C., Kokini, J. L., Lila, M. A., Meyer, A. S., & Yu, L. (2020). Building a Resilient, Sustainable, and Healthier Food Supply Through Innovation and Technology. *Annual Review of Food Science and Technology*, 12(1), 1-28. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-092220-030824>
- Meenakshi, M., Ramasamy, S. K., Venkatesan, G., Lee, J., Barathi, S., Kandasamy, S., & Sarangi, P. K. (2024). The comprehensive review on 3D printing- pharmaceutical drug delivery and personalized food and nutrition. *Food Chemistry*, 140348. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.140348>
- Mengist, W., Soromessa, T., & Legese, G. (2020). Method for conducting systematic
- Mohamad, Y. S., Yu, M., Felder, M., Meunier, V., Litster, J., & Salman, A. D. (2024). Systematic study to improve the powder feeding performance and reducing the percentage of fines in roller compactor. *Powder Technology*, 446, 120158. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2024.120158>
- Muhammad, A. H., Asma, M., Hamed, Y. S., Hameed, A., Abdullah, N., Jian, W., Peilong, S., Kai, Y., & Ming, C. (2024). Enhancing cellulose-stabilized multiphase/Pickering emulsions systems: A molecular dynamics perspective. *International Journal Of Biological Macromolecules*, 277, 134244. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.134244>
- Niu, Z., Li, K., Guo, Y., Zhao, G., Wu, K., Hou, X., Qiao, D., Jiang, F., Zhang, B., & Xie, F. (2024). Assembly behavior and nano-scale microstructure of tamarind gum/xanthan synergistic interaction gels. *Food Hydrocolloids*, 110392. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2024.110392>
- Ochoa, W., Larrinaga, F., & Pérez, A. (2023). Context-aware workflow management for smart manufacturing: A literature review of semantic web-based approaches. *Future Generation Computer Systems*, 145, 38-55. <https://doi.org/10.1016/j.future.2023.03.017>
- Outrequin, T. C. R., Gamonpilas, C., Sreearunothai, P., Deepaisarn, S., & Siriwatwechakul, W. (2024). Machine Learning assisted evaluation of the filament spreading during extrusion-based 3D food printing: Impact of the rheological and printing parameters. *Journal Of Food Engineering*, 381, 112166. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2024.112166>
- Outrequin, T., Gamonpilas, C., Deepaisarn, S., Siriwatwechakul, W. (2024). Machine learning assisted evaluation of the filament spreading during extrusion-based 3D food printing: Impact of the rheological and printing parameters. *Journal of Food Engineering*, 381. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2024.112166>
- Pešić, M. B., Pešić, M. M., Bezbradica, J., Stanojević, A. B., Ivković, P., Milinčić, D. D., Demin, M., Kostić, A. Ž., Dojčinović, B., & Stanojević, S. P. (2023). Okara-Enriched Gluten-Free Bread: Nutritional, Antioxidant and Sensory Properties. *Molecules*, 28(10), 4098. <https://doi.org/10.3390/molecules28104098>
- Radoš, K., Pastor, K., Kojić, J., Drakula, S., Dujmić, F., Novotni, D., & Čukelj Mustač, N. (2023). Influence of Infill Level and Post-Processing on Physical Parameters and Betaine Content of Enriched 3D-Printed Sweet Snacks. *Foods*, 12(24), 4417. <https://doi.org/10.3390/foods12244417>
- Riantiningtyas, R. R., Sager, V. F., Chow, C. Y., Thybo, C. D., Bredie, W. L., & Ahrné, L. (2021). 3D printing of a high protein yoghurt-based gel: Effect of protein enrichment and gelatine on physical and sensory properties. *Food Research International*, 147, 110517. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110517>
- Sajdakowska, M., Gębski, J., Guzek, D., Gutkowska, K., & Żakowska-Biemans, S. (2020). Dairy Products Quality from a Consumer Point of View: Study among Polish Adults. *Nutrients*, 12(5), 1503. <https://doi.org/10.3390/nu12051503>
- Saleh, M. A., Soliman, M., Mousa, M. A., Elsamanty, M., & Radwan, A. G. (2020). Design and implementation of variable inclined air pillow soft pneumatic actuator suitable for bioimpedance applications. *Sensors And Actuators a Physical*, 314, 112272. <https://doi.org/10.1016/j.sna.2020.112272>

- Schüler, K., Marques, D. M., Gusmão, A., Jabouille, M., Leite, M., Cabral, J. M., Sanjuan-Alberte, P., & Ferreira, F. C. (2024). 3D printing of plant-based fat inks towards manufacturing complex cellular agriculture products with fatty structures. *Food Hydrocolloids*, 157, 110369. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2024.110369>
- Sogin, J. H., Lopez-Velasco, G., Yordem, B., Lingle, C. K., David, J. M., Çobo, M., & Worobo, R. W. (2020). Implementation of ATP and Microbial Indicator Testing for Hygiene Monitoring in a Tofu Production Facility Improves Product Quality and Hygienic Conditions of Food Contact Surfaces: a Case Study. *Applied And Environmental Microbiology*, 87(5). <https://doi.org/10.1128/aem.02278-20>
- Soleymani, S., Naghib, S. M., & Mozafari. (2024). An overview of cultured meat and stem cell bioprinting: How to make it, challenges and prospects, environmental effects, society's culture and the influence of religions. *Journal of Agriculture and Food Research*, 18, 101307. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101307>
- Strother, H., Moss, R., & McSweeney, M. B. (2020). Comparison of 3D printed and molded carrots produced with gelatin, guar gum and xanthan gum. *Journal Of Texture Studies*, 51(6), 852-860. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12545>
- Thapa, A., Nishad, S., Biswas, D., & Roy, S. (2023). A comprehensive review on artificial intelligence assisted technologies in food industry. *Food Bioscience*, 56, 103231. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.103231>
- Tian, H., Chen, X., Wu, J., Wu, J., Huang, J., Cai, X., & Wang, S. (2024). Nondestructive frozen protein ink: Antifreeze mechanism, processability, and application in 3D printing. *International Journal of Biological Macromolecules*, 134009. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.134009>
- Wahjuningsih, S. B., Anggraeni, D., Siqhny, Z. D., Triputranto, A., Elianarni, D., Purwitasari, L., & Azkia, M. N. (2023). Formulation, Nutritional and Sensory Evaluation of Mocaf (Modified Cassava Flour) Noodles with Latoh (Caulerpa lentillifera) Addition. *Current Research in Nutrition and Food Science Journal*, 11(3), 1008-1021. <https://doi.org/10.12944/CRNFSJ.11.3.08>
- Wang, H., Fang, X., Sutar, P. P., Meng, J., Wang, J., Yu, X., & Xiao, H. (2020). Effects of vacuum-steam pulsed blanching on drying kinetics, colour, phytochemical contents, antioxidant capacity of carrot and the mechanism of carrot quality changes revealed by texture, microstructure and ultrastructure. *Food Chemistry*, 338, 127799. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127799>
- Wang, Y., Aluko, R., McClements, D. J., Yu, Y., Xu, X., Sun, Q., Wang, Q., Jiao, B., & Dai, L. (2024). Emulsion gel-based inks for 3D printing of foods for dysphagia patients: High internal type emulsion gel-biopolymer systems. *Food Hydrocolloids*, 110340. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2024.110340>
- Wang, Z., Chen, F., Deng, Y., Tang, X., Li, P., Zhao, Z., Zhang, M., & Liu, G. (2024). Texture characterization of 3D printed fibrous whey protein-starch composite emulsion gels as dysphagia food: A comparative study on starch type. *Food Chemistry*, 458, 140302. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.140302>
- Wu, Y., Li, Z., Yang, L., Zheng, H., & Xue, C. (2024). Construction of 3D printed salmon fillet simulants: improving printing performance by blending corn starch and flaxseed oil with pea protein and post-printing texturization via transglutaminase. *Food Hydrocolloids*, 155, 110242. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2024.110242>
- Xue, Z., Brooks, J. T., Quart, Z., Stevens, E. T., Kable, M. E., Heidenreich, J., McLeod, J., & Marco, M. L. (2021). Microbiota Assessments for the Identification and Confirmation of Slit Defect-Causing Bacteria in Milk and Cheddar Cheese. *mSystems*, 6(1). <https://doi.org/10.1128/msystems.01114-20>
- Yan, T., Lv, Z., Tian, P., Lin, M., Lin, W., Huang, S., & Chen, Y. (2020). Semi-solid extrusion 3D printing ODFs: an individual drug delivery system for small scale pharmacy. *Drug Development and Industrial Pharmacy*, 46(4), 531-538. <https://doi.org/10.1080/03639045.2020.1734018>
- Yang, F., Cui, Y., Guo, Y., Yang, W., Liu, X., & Liu, X. (2021). Internal structure and textural properties of a milk protein composite gel construct produced by three-dimensional printing. *Journal of Food Science*, 86(5), 1917-1927. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15727>
- Zhang, X., Dong, X., Jia, Y., Ren, X., Xu, L., Liu, X., Li, F., Ju, H., & Wei, Q. (2024). Ligand Regulation Strategy Enhanced Anodic Electrochemiluminescence of Copper Nanoclusters for Enrofloxacin Trace Determination. *Sensors And Actuators B Chemical*, 136193. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2024.136193>
- Zhong, Y., Wang, B., Lv, W., Wu, Y., Lv, Y., Sheng C. (2024). Investigaciones y aplicaciones recientes en alimentos a base de lípidos y biotintas con lípidos incorporados para impresión 3D. *Food Chemistry*, 458. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.140294>