

ESCRIBIENDO LITERATURA CIENTÍFICA

LA EXPERIENCIA DE UN *REVIEW* EN LOS PROGRAMAS DE
INGENIERÍA DE ALIMENTOS, ZOOTECNIA Y MEDICINA
VETERINARIA (INVESTIGACIÓN FORMATIVA)

SERIE JOVIAL

ESCRIBIENDO LITERATURA CIENTÍFICA

LA EXPERIENCIA DE UN *REVIEW* EN LOS PROGRAMAS
DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS, ZOOTECNIA Y MEDICINA
VETERINARIA (INVESTIGACIÓN FORMATIVA)

SERIE JOVIAL

Coordinadores

Ph. D. Marilza Piedad Ruíz Ruíz

Ph. D. Rubén Darío Hernández Escorcía

Dirección de Investigación

2024

Caldas, Antioquia

664.07

E74

Unilasallista Corporación Universitaria

Escribiendo literatura científica la experiencia de un Review en los programas de Ingeniería de Alimentos, Zootecnia y Medicina Veterinaria (investigación formativa). Serie JOVIAL/ Unilasallista Corporación Universitaria Comp. Marilza Piedad Ruiz Ruiz, Rubén Darío Hernández Escorcía – Caldas: Unilasallista Corporación Universitaria, 2024

89 p.: il. col; tamaño 17x24 cm.

ISSN: 2745-0414 (en línea)

1. Tecnología de alimentos 2. Producción animal 3. Procesamiento de Alimentos 4. Innovación alimentaria
5. Investigación alimentaria

Título

Escribiendo literatura científica la experiencia de un Review en los programas de Ingeniería de Alimentos, Zootecnia y Medicina Veterinaria (investigación formativa).

ISSN 2745-0414

Autores

Rubén Darío Hernández-Escorcía. F.S.C.

Marilza Piedad Ruiz Ruiz

Karen Yuliana Arboleda Gómez

Sergio Andrés Yepes Mejía

Pablo Betancur Penagos

Valentina Callejas Urrea

María José Correa Villa

Elizabeth Osorio Borja

Valeria Duque Giraldo

Juliana Piedrahita Arbeláez

Mariana Granada Muñoz

Lina Marcela Moreno Sánchez

Fredy Alexander Muriel

María Paula Ortiz

Visitador Distrito Lasallista Norandino

PhD. Luis Bernardo Bolívar. F.S.C.

Rectora

Ph. D. Lucía Mercedes De la Torre Urán

Editor Institucional

PhD. Rubén Darío Hernández Escorcía. F.S.C.

Apoyo Editorial

Tec. Edy Giraldo Velásquez

Corrección de textos

Infolio. Corrección de Textos

Diagramación

Eliana Bedoya Rodríguez

Unilasallista Corporación Universitaria

www.unilasallista.edu.co

Editorial Lasallista, 2024

Teléfono: (60) (4) 3201990 Ext. 156

Derechos reservados conforme a la ley.

Hecho el depósito legal conforme a la ley.

La información contenida en este libro es producto de la creación de los autores, por ello, no compromete formalmente la posición de la Corporación Universitaria Lasallista.

Prohibida la reproducción parcial, en cualquier medio o para cualquier propósito, se imprime con fines educativos y culturales con la obligación de citar la fuente primaria.

Contenido

Presentación	8
Referencias	13
1. Materias primas para la elaboración de alimentos por impresión 3D	15
Resumen	15
1.1 Introducción	16
1.2 Espinaca (<i>Spinacia oleracea</i>)	16
1.3 Seta de cardo (<i>Pleurotus eryngii</i>)	18
1.4 Péptidos de surimi	19
1.5 Chenpi	20
1.6 Aronia o chokeberry negro (<i>Aronia melanocarpa</i>)	21
1.7 Cochayuyo o <i>Durvillaea antártica</i>	22
1.8 Aislado de proteína de soja	23
1.9 Avances en oleogeles a base de almidón	23
1.10 Aplicación en <i>snacks</i> y postres asiáticos	24
1.11 Impresión 3D de geles alimentarios naturales como aplicación de aditivos alimentarios innovadores	25
1.12 Los alimentos en 3D: seguridad alimentaria y comportamiento del consumidor	25
1.13 Conclusiones	26
Referencias	27

2. Avances y desafíos de la nutrición animal en la producción animal sostenible	30
Resumen	30
1 Introducción	31
2.2 Sistemas de alimentación de precisión	32
2.3 Implicaciones para la salud y la productividad animal	35
2.4 Implicaciones ambientales y económicas	37
2.5 Programas de optimización de alimentos en la producción animal	38
2.6 Desafíos y direcciones futuras	38
2.7 Conclusiones	39
Referencias	40
3. Avances recientes en microencapsulación de compuestos bioactivos para aplicaciones alimentarias: una revisión bibliográfica	42
Resumen	42
3.1 Introducción	43
3.2 Métodos de encapsulación	44
3.2.1 Liofilización	45
3.2.2 Secado por pulverización	45
3.2.3 Coacervación	46
3.2.4 Coencapsulación	47
3.2.5 Encapsulación por complejación de inclusión	47
3.3 Aplicaciones de la encapsulación en la industria alimentaria	49

3.4 Conclusiones	50
Referencias	51
4. Desarrollo de productos plant based	53
Resumen	53
4.1 Introducción	53
4.2 Características y componentes nutricionales de la leche y las bebidas vegetales	56
4.3 Principales diferencias en el proceso de fermentación en bebidas vegetales	58
4.4 Beneficios de la fermentación en bebidas vegetales	59
4.5 Aspectos importantes en la formulación de helado a partir de bebidas vegetales	60
4.6 Conservación de los probióticos en frío	61
4.7 Probióticos en productos <i>plant based</i>	63
4.8 Conclusiones	65
Referencias	65
5. Tauromaquia: tradición, arte y controversia	68
Resumen	68
5.1 Introducción	69
5.2 Metodología	70
5.3 Resultados	71
5.4 Discusión	73
5.5 Conclusiones	74
Referencias	75

6. Inteligencia artificial, su uso en el desarrollo de fármacos y su aplicación en la medicina	77
Resumen	77
6.1 Introducción	78
6.2 La medicina y la industria farmacéutica	79
6.3 COVID-19	82
6.4 Métodos y recursos	83
6.5 Desafíos por superar	84
6.6 Conclusiones	85
Referencias	86

Presentación

El Informe sobre Desarrollo Humano realizado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, analiza las cuestiones, tendencias y políticas más importantes en materia de desarrollo, donde se consigna que es obligatorio “sostener el progreso humano”, mediante la reducción de vulnerabilidades y la construcción de resiliencia. Allí se afirma que:

El principal objetivo de un enfoque de desarrollo humano es ubicar a las personas en el centro del desarrollo, fortaleciendo sus capacidades y brindando las mismas oportunidades, independientemente del lugar en el que nazcan o vivan, de su condición social, de su sexo o raza, o de sus creencias religiosas o políticas (PNUD, 2022).

Para ello, la universidad y las instituciones de educación superior como entes generadores de conocimiento juegan un rol fundamental:

La Universidad es, por principio, el paradigma de la organización especializada en el manejo del conocimiento avanzado, por medio de sus tres actividades principales: la docencia, la investigación y la extensión. (...) Esto sugiere que es la Universidad la institución por excelencia que debe impulsar el desarrollo de conocimiento en el contexto de la economía global y la sociedad de la información, así como garantizar los procesos por medio de los cuales este conocimiento pueda ser apropiado, generado, codificado, conservado y transferido adecuadamente (Hincapié, 2009, p. 4).

Desde la revolución industrial, el desarrollo tecnológico-científico ha tratado de satisfacer las necesidades sociales bajo una mirada economicista y de bienes de consumo. El modelo socioeconómico neoliberal ha ayudado a consolidar un concepto errado entre ciencia,

producción de conocimiento, bienes, uso y beneficiarios; aceptando el supuesto de la existencia de una linealidad positiva entre producción de conocimiento versus uso, donde la ciencia empuja al desarrollo y genera bienestar, aportes y retorno de índole económico (Estébanez, 2004).

Popoveniuc (2014) propone que la autorreflexividad ha demostrado ser la etapa de cierre de cualquier modalidad de reflexión madura de conocimiento, y lo más importante es el porqué, además es indispensable considerar el para quién. Así, desde el punto de vista ético, la universidad como elite del capital intelectual –entendido este como la gestión de los intangibles de la organización: conocimiento del equipo humano, su potencial, las relaciones y el manejo de ese conocimiento– deberá generar ventajas competitivas sostenibles (Merino, 2007) asociadas a su compromiso con la generación de conocimiento para dar atención a las necesidades sociales, de tal forma que se permita la diversidad de la persona humana y la construcción de tejido social, la mitigación de la pobreza y el incremento del bienestar y la calidad de vida, que ratifique lo correcto, para definir lo permitido y lo obligatorio en la cadena generación-transferencia-aplicación-uso del conocimiento.

Los principales aportes del sistema científico-tecnológico en el desarrollo social y en la atención de graves problemas sociales, deben rastrearse en las relaciones que este sistema entabla con actores e instituciones oficiales, privadas, académicas y científicas, encargados de operar, desde la formulación y la aplicación de las políticas públicas en ciencia, tecnología e innovación, hasta la ejecución de acciones públicas, tanto oficiales como privadas que involucren su intervención social (Estébanez, 2004).

En Colombia, de acuerdo con el artículo 1 de la Ley 115 de 1994, la educación se asume como “un proceso de formación permanente, personal, cultural y social que se fundamenta en una concepción integral de la persona humana, de su dignidad, de sus derechos y de sus deberes”.

En ese sentido, la formación de nuestros profesionales va más allá de la formación en su quehacer, estará en función de su deber ser. Como lo afirman Escobar et al. (2016, p. 1) “tales profesionales requieren alcanzar altos niveles de transformación en las diversas dimensiones del ser para promover procesos de mantenimiento y mejora integral en su proyecto de vida y en su ejercicio profesional”.

Ramírez et al. (2012, p. 38) señalan que “es fundamental entender que los tiempos y las formas de aproximación a los problemas y necesidades de la sociedad conservan diferencias respecto a las necesidades y dinámicas del mundo intrauniversitario”. Bajo este contexto, la investigación formativa y aplicada serán uno de los pilares para la transformación y la generación de propuestas de valor que den cuenta del desarrollo humano y la sostenibilidad, que junto con el pilar ético y de corresponsabilidad permitirán seguir ayudándonos, habitándonos y descubriéndonos como ciudadanos del planeta.

El conocimiento producido a través de la investigación, formativa y aplicada, deberá ser transferido y apropiado socialmente, de forma tal que dé cuenta a las necesidades globales. Es así, que las propuestas de investigación hoy en día requieren evidenciar el logro de la apropiación social y la transferencia de la ciencia, la tecnología y las TIC, cuyo objetivo es apoyar soluciones innovadoras a problemáticas que afectan a comunidades locales, las cuales requieren de apuestas creativas y diferentes, desarrolladas de forma colaborativa entre científicos, innovadores y ciudadanos, la sumatoria de todos ellos, serán nuestros futuros egresados y egresadas.

Un ejemplo de estos cambios puede verse en Colombia Científica, donde se consolidó el ecosistema científico, definido como una red de actores nacionales: IES acreditadas, no acreditadas, empresas, agremiaciones y centros de investigación, desarrollo tecnológico e innovación; e internacionales, que se articulan alrededor de focos estratégicos a partir de las necesidades del país, que respondan a las características de contextos regionales para generar y usar conocimiento

en función del desarrollo social y productivo, su transferencia y apropiación en trabajo colaborativo con entidades pares.

Leith et al., (2014) opinan que las construcciones tradicionales en las que se indica que la ciencia debe distanciarse de los debates sobre valores y lo que está en juego son erradas. Así, su análisis sugiere que la voluntad y la capacidad de las organizaciones, programas o proyectos de investigación, y sus personas como entes movilizadores, para reflexionar activamente y participar en la evolución del entorno operativo, definido este como las interacciones dinámicas y acumulativas entre actores, valores, apuestas y las instituciones, procesos, discursos y objetos que median estas interacciones, hace parte integral de su capacidad para informar y proyectar los resultados de la ciencia en contextos de problemas específicos.

Las maneras en que los problemas sociales son representados y abordados tienden a ser arraigadas dentro de las instituciones existentes, las estructuras de poder, los conocimientos, las relaciones y las culturas (Hoppe, 2011). En clave con este precepto, la representación de la universidad como posibilitador social es fundamental, y deberá permitir sensibilizar al consenso y al diálogo, desarrollar diagnósticos locales y prestar su capacidad intelectual, estructural y relacional, apoyados de forma fundamental de las áreas de formación humana. La universidad, a través de la educación, la investigación y los programas de extensión y transferencia de conocimientos, deberá vincular valores, objetivos de desarrollo, innovación y ciencia en narrativas coherentes y dejar un legado dentro de las personas, entidades y organizaciones, ayudando en la reconfiguración de la forma en que se percibe su presencia más allá de lo académico y sus funciones misionales, permitiendo la articulación con diversos marcos, para favorecer la cohesión social.

La publicación que hoy presentamos incluye los artículos producto de la revisión y análisis de literatura científica disponible sobre las tecnologías actuales asociadas a la producción animal y de alimentos, y la reflexión bioética de los temas de interés de los estudiantes

del curso de Innovación y Desarrollo de Productos y el curso de Bioética, los cuales realizaron una búsqueda sistemática de artículos científicos, tesis y publicaciones académicas sobre un tema de su interés particular de su programa de formación académica –que ellos consideraron relevantes– disponibles en bases de datos académicas como Web of Science, Scopus, PubMed y Google Scholar, con los cuales realizaron una síntesis de la información, destacando los hallazgos de las investigaciones, las tendencias emergentes y las brechas de conocimiento existentes. Este es un ejercicio de acercamiento a la escritura científica, a la apropiación de conocimiento del futuro profesional, como contribución a la investigación formativa.

Ponemos entonces a su disposición, con orgullo y respeto, el resultado del trabajo arduo de nuestros estudiantes, futuros egresados: profesionales, investigadores y ciudadanos del planeta.

Docente Marilza Piedad Ruiz Ruiz
Docente Rubén Darío Hernández Escorcía

Referencias

- Congreso de la República. (1994). Ley 115 de febrero 8 por la cual se expide la Ley General de Educación. Diario Oficial 41.214.
- Escobar, J. V., Castaño, D. A., Ruiz-Ruiz, M. P. y Restrepo, J. C. (2016). Evaluación auténtica del impacto social de procesos, proyectos y productos de investigación universitaria: un acercamiento desde los grupos de investigación. *Revista Lasallista de Investigación*, 13(1), 166-180.
- Estébanez, M. E. (2004). Conocimiento científico y políticas públicas: un análisis de la utilidad social de las Investigaciones científicas en el campo social. *Espacio Abierto*, 13(1), 7-37.
- Hincapié, C. A. (2009). Gestión del conocimiento, capital intelectual y comunicación en grupos de investigación. *Revista Virtual Universidad Católica del Norte*, 1(27), 1-25.
- Hoppe, R. (2011). *The governance of problems: Puzzling, powering and participation*. Policy Press.
- Leith, P., O'Toole, K., Haward, M., Coffey, B., Rees, C. and Ogier, E. (2014). Analysis of operating environments: A diagnostic model for linking science, society and policy for sustainability. *Environmental Science & Policy*, 39, 162-171.
- Merino, C. (2007). Inteligencia organizativa y capital intelectual: un ejercicio de integración. *Innovar Revista de Ciencias Administrativas y Sociales*, 17(29), 7-26.
- Popoveniuc, B. (2014). Self Reflexivity. The Ultimate End of Knowledge. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 163, 204-213.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). (2022). Informe sobre Desarrollo Humano para Colombia. Cuaderno 1. Evolución de los últimos diez años en desarrollo humano. Pag. 17.

Disponible en: <https://www.undp.org/es/colombia/publicaciones/informe-desarrollo-humano-colombia-cuaderno-1>.

Ramírez Martínez D. C, Martínez Ruiz L. C, Castellanos Domínguez O. F. (2012). *Divulgación y difusión del conocimiento: las revistas científicas*. Universidad Nacional de Colombia. Programa Interdisciplinario de Investigación y Desarrollo en Gestión, Productividad y Competitividad-Biogestión.

1. Materias primas para la elaboración de alimentos por impresión 3D

Karen Yuliana Arboleda Gómez¹, Sergio Andrés Yepes Mejía²,
PhD. Marilza Piedad Ruíz Ruíz³, PhD. Rubén Darío Hernández Escorcía⁴

Resumen

En respuesta a la necesidad global de soluciones sostenibles en la industria alimentaria, se ha desarrollado la tecnología de impresión 3D de alimentos como una herramienta innovadora para abordar desafíos como la seguridad alimentaria y la reducción de la huella de carbono. Esta revisión destaca diversas materias primas utilizadas en la impresión 3D de alimentos, describiendo algunos de sus beneficios nutricionales y su contribución a la personalización alimentaria. Dentro de las materias primas revisadas para este artículo se incluyen la espinaca (*Spinacia oleracea*), la seta de cardo (*Pleurotus eryngii*), el surimi, el chenpi o cáscara de mandarina deshidratada, la aronia negra (*Aronia melanocarpa*) y el alga cochayuyo (*Durvillaea antártica*), cada uno con propiedades únicas que influyen en la calidad nutricional y funcionalidad de los alimentos impresos en 3D bajo estas matrices alimentarias.

Palabras clave: impresión 3D de alimentos, materia prima, nutricionales, organolépticas, reológicas.

1 Estudiante del programa de Ingeniería de Alimentos de Unilasallista Corporación Universitaria.

2 Estudiante del programa de Ingeniería de Alimentos de Unilasallista Corporación Universitaria.

3 Docente de tiempo completo de Unilasallista Corporación Universitaria.

4 Docente de tiempo completo de Unilasallista Corporación Universitaria.

1.1 Introducción

En los últimos años el ser humano a enfocado su atención en el desarrollo de procesos sostenibles tanto económica como ambientalmente debido a los graves fenómenos naturales que ocurren en el mundo por la contaminación antropogénica. De allí que se busquen soluciones desde las diferentes actividades que realiza el hombre, lo cual aplica también para los procesos de la agroindustria alimentaria, considerando que esta tiene como objetivo garantizar la seguridad alimentaria y la nutrición, mientras que se modifican los procesos de procesamiento y producción para reducir la huella de carbón que esto genera (Wang y Zhang, 2024).

En este sentido han surgido nuevas técnicas para la producción de productos alimenticios, entre ellas se encuentra la tecnología de impresión 3D de alimentos, la cual se caracteriza por permitir el diseño de alimentos personalizados, la nutrición personalizada, promover el desarrollo sostenible y ampliar el espectro de las materias primas utilizadas en su fabricación (Wang et al., 2024)

La diversificación de las materias primas empleadas para la impresión 3D juega un rol fundamental, ya que dependiendo de estas puede ajustarse el alimento a los requerimientos de nutrición y calidad organoléptica, sumado al enfoque de reducción de la huella de carbono.

Esta revisión presenta algunas opciones en materias primas que han sido estudiadas para la industria de alimentos con el propósito de desarrollar productos alimentarios bajo impresión 3D.

1.2 Espinaca (*Spinacia oleracea*)

La espinaca es una verdura baja en calorías con bajo contenido en grasas, pero es una excelente fuente de micronutrientes como vitaminas (A y C), minerales (hierro), compuestos fenólicos, carotenoides y antioxidantes (Pighín y Rossi, 2010).

Además, la espinaca es rica en compuestos bioactivos como la clorofila, lo que hace que sea un alimento con propiedades antiinflamatorias, antioxidantes, anticancerígenas y antiobesidad; igualmente se ha considerado que el consumo de espinaca puede ayudar a reducir la incidencia de enfermedades cardiovasculares (Wang et al., 2024).

Como materia prima para la impresión 3D, la espinaca por sí sola no aporta buenas características reológicas ni de color, pero al ser un alimento de gran valor nutricional, se puede combinar con otra matriz alimentaria. A continuación, describiremos los resultados de la investigación publicada por Wang et al. (2024), los cuales reportaron cómo mejorar la calidad sensorial y nutricional (sabor y capacidad antioxidante) de un sistema de gel de espinacas para impresión 3D, con condiciones de impresión a temperatura ambiente y atmósfera controlada con bajo contenido de oxígeno. Los autores evaluaron varias mezclas de jugo de espinacas y de papa en polvo de nieve como materias primas para preparar materiales de impresión. Los resultados reportados mostraron que el material de impresión con una adición del 20 % de papa en polvo de nieve presentó el mejor rendimiento de impresión (Wang et al., 2024).

En cuanto a producción este gel presenta buenas características reológicas al tener una estructura elástica, con buena resistencia mecánica y un buen rendimiento posimpresión (Wang et al., 2024)

Asociado a que los micronutrientes de la espinaca son sensibles al calor, los autores sugieren trabajar condiciones de impresión con temperaturas inferiores a los 40 °C, temperatura en la cual el estudio encontró, luego del proceso de impresión, que no había cambios significativos en el contenido de clorofila, carotenoides, compuestos fenólicos, antioxidantes y oxidasas (Wang et al., 2024). Bajo estas temperaturas las características sensoriales de la espinaca también se conservan, dado que es un alimento que se consume normalmente crudo o sin cocción.

Los autores concluyen que el gel de espinaca puede ser una excelente opción de materia prima para la impresión 3D, asociado a su rendimiento y propiedades nutricionales, a lo que se le sumaría la disminución en la problemática de desperdicio de comida por la elaboración de estos subproductos (Torres, 2006).

1.3 Seta de cardo (*Pleurotus eryngii*)

Es un hongo basidiomiceto del orden Agaricales, este es ampliamente conocido en España gracias a su sabor suave, agradable y dulce (Jiménez, 2019).

Las setas del género *Pleurotus* se han presentado últimamente como una solución a la disponibilidad de proteínas, al no presentar restricciones nutricionales, ni ideológicas, ni religiosas de varias poblaciones. Este tipo de setas crecen naturalmente en las raíces o en la base de los tallos de las plantas de la familia de las umbelíferas, actualmente se cultivan en sustratos estériles con condiciones ambientales controladas, generando así una fuente de proteína con una menor huella de carbón que la proteína animal (Andrino et al., 2011).

La proteína del *Pleurotus eryngii* tiene un buen perfil nutricional, ya que contiene un buen equilibrio de aminoácidos, su única falencia es el aminoácido esencial valina, por lo que necesita un complemento que se lo aporte, lográndose adaptar por completo a las demandas nutricionales.

A continuación, presentaremos los resultados reportados por Lv et al., 2024, los cuales evaluaron la preparación de alimentos horneados con proteínas *Pleurotus eryngii* mediante impresión 3D. Asociado a sus limitaciones en el aminoácido esencial valina, en la formulación de estudio se mezcló con polvo de papa, el cual es conocido por mejorar las características reológicas. Al final se reportó que la adecuada para la materia prima fue de 20 % de la proteína del *Pleurotus eryngii*, ya

que en esta concentración se obtuvo una mayor fluidez, generando en la impresión 3D productos con una superficie lisa y con alta resolución (Lv et al., 2024).

Además, los alimentos impresos tras el horneado presentaron una buena calificación organoléptica, con una textura de corteza crujiente y un núcleo suave, color uniforme y un sabor horneado y a papa agradable (Lv et al., 2024)

Los autores indican que la mezcla de la proteína del *Pleurotus eryngii* con polvo de papa resulta en una excelente materia prima para la impresión de alimentos 3D, con la capacidad de generar productos ricos en proteína a bajo costo, y con aplicaciones de uso para productos destinados a ser horneados.

1.4 Péptidos de surimi

El surimi es un alimento proveniente del pescado previamente descabezado y eviscerado, los restos de estos se deshidratan para llegar al producto surimi, el cual se considera una buena fuente de proteína miofibrilar, lo que lo hace también una excelente materia prima como aditivo ya que aporta poder gelificante a los productos (Walayat et al., 2022).

Como la característica más destacada del surimi son las proteínas Zhan et al., (2023), evaluaron los péptidos de surimi bajo impresión 3D, ya que estos, además de las propiedades funcionales y tecnológicas ya mencionadas, tienen la capacidad de brindar un poder antioxidante al producto impreso.

Para mejorar su funcionalidad en la impresión 3D, la mezcla evaluada incluía carragenina y goma xanthan, aditivos que mejoran las cualidades reológicas. Esta mezcla demostró ser una excelente materia prima para ser utilizada en la impresión 3D de alimentos, ya que en cuanto la funcionalidad esta genera geles con buena fuerza, textura, extrudabilidad y resistencia mecánica (Zhan et al., 2023).

Las características nutricionales después de la impresión en 3D no se vieron afectadas y las propiedades antioxidantes del producto mejoraron luego de pasar por el proceso tecnológico y por la digestión, de acuerdo con lo indicado por el modelo de digestibilidad *in vitro*, donde el poder antioxidante aumentó (Zhan et al., 2023).

Teniendo en cuenta que el material de impresión incluye los péptidos de surimi, los cuales son subproductos de otros procesos provenientes de los restos de pescado Alaska, bacalao o merluza, su implementación en la industria alimentaria aportaría a la disminución de residuos en los procesos productivos de elaboración de alimentos.

1.5 Chenpi

Es el nombre común con el cual se conoce la cáscara de mandarina secada al sol, mayormente utilizada en la China como parte de la medicina tradicional. El chenpi es rico en ácidos volátiles y flavonoides, por lo que se considera ayuda en la regulación de los parámetros del funcionamiento cardíaco y hepático (Zou et al., 2022).

Para la fabricación de tinta para la impresión 3D de alimentos, el chenpi se puede complementar con otras frutas como kiwi, fruta que aporta tanto a las propiedades nutricionales y reológicas de la mezcla, al ser una buena fuente de vitaminas y compuestos fenólicos (Peng et al., 2022).

La mezcla de chenpi y kiwi, junto con carbonato de calcio genera una tinta adecuada para impresión 3D, con una buena consistencia textural, pero de baja resolución, así es que para mejorar los detalles se recomienda la adición de un mejorador de propiedades reológicas (Peng et al., 2022).

Con respecto a su valor nutricional, la mezcla de la tinta de impresión 3D generó alimentos bajos en grasas, ricos en fenoles y flavonoides, por lo que sería útil para la fabricación de alimentos bajo en grasa y

calorías. Además, al considerarse una buena fuente de flavonoides, se espera ayuden a la regulación del funcionamiento cardíaco. En este sentido, esta mezcla podría ser una excelente opción para el diseño de alimentos personalizados enfocado a personas con problemas de obesidad y las comorbilidades asociadas (Peng et al., 2022).

1.6 Aronia o chokeberry negro (*Aronia melanocarpa*)

Es una baya de arbusto, la cual se encuentra principalmente en Norte América (Estados Unidos y Canadá), utilizados principalmente de modo ornamental (Jurikova et al., 2017)

Actualmente la *Aronia melanocarpa* ha sido estudiada clínicamente por sus altos contenidos de compuestos fenólicos, vitaminas, minerales y ácidos orgánicos; es una buena fuente natural para la prevención de enfermedades crónicas (Jurikova et al., 2017), lo que la convierte en un ingrediente muy interesante para la elaboración de productos bajo impresión 3D. Dado sus limitaciones reológicas, Zhou et al. (2023) trabajaron mezcla de aronia con aditivos que mejoraran sus propiedades como la metilcelulosa, la albúmina de guisantes y el ácido hialurónico. Estos ingredientes permitieron que el proceso de impresión de alimentos diera un resultado eficiente, con alta efectividad en el moldeo brindando una textura y apariencia agradable para el consumidor (Zhou et al., 2023).

El producto fabricado por esta tecnología logró mantener sus características nutricionales, especialmente el contenido de polifenoles (metabolitos importantes en la prevención de enfermedades crónicas), por lo que la mezcla generada para la elaboración de la materia prima para impresión 3D logró obtener un equilibrio entre las propiedades de textura y el valor nutricional (Zhou et al., 2023).

Además de esto, cuando el producto impreso por esta tecnología se lleva a distintos procesos térmicos, no genera cambios desagradables

en las propiedades organolépticas, su limitación radica cuando se lleva a cocción en agua dado la pérdida de color, debido a la solubilidad de las antocianinas de la aronia (Zhou et al., 2023).

Por lo tanto, en términos nutricionales y de producción, la pulpa de *Aronia melanocarpa* es una buena base como materia prima en la producción de alimentos impresos 3D, permitiéndole a las personas contar con una ingesta considerable de polifenoles en la dieta.

1.7 Cochayuyo o *Durvillaea antarctica*

Es un alga apta para consumo humano muy popular en Chile, es rica en proteína, vitaminas, minerales, fibra dietaria, ácidos grasos esenciales y β -glucano (Guerrero-Wyss et al., 2023)

Para el uso de esta alga como materia prima en los procesos de impresión 3D es necesario otro compuesto que le aporte una mejor fluidez para que esta sea óptima para en la tecnología 3D. Vásquez (2023) evaluó el efecto de la adición de harina de cochayuyo sobre la capacidad de impresión y las propiedades termofísicas de un alimento impreso 3D a base de harina de arroz.

El uso de estos dos ingredientes como materia prima presentó buenos resultados, dado que la harina de alga cochayuyo generó una sinergia positiva sobre las propiedades reológicas de la harina de arroz, contribuyendo a mejorar la resolución en la impresión del producto final, aumentando además las características nutricionales (Vásquez, 2023).

En cuanto a las propiedades organolépticas del producto impreso en 3D, se logró obtener un alimento con dureza, buena masticabilidad y poca elasticidad, características que lo identifican como producto agradable para el consumidor en términos de textura. Con respecto al color, como el alga aporta un color verde oscuro, puede no ser muy llamativo para cierto grupo de consumidores (Vásquez, 2023), por lo que sería recomendable la adición de un colorante natural de grado

alimenticio que le otorgue un color más atractivo para el consumidor. Desde el punto de vista ambiental, se deberán implementar estrategias de repoblamiento y cultivo, para así no afectar los ecosistemas marinos (Gutiérrez-Venegas, 2018).

1.8 Aislado de proteína de soja

Las proteínas son un macronutriente de gran importancia para nuestro organismo y se pueden encontrar de manera vegetal o animal. Las inclinaciones del consumidor actual han tomado un giro importante al uso de proteínas vegetales y los alimentos análogos. Pant, et al. (2022) exploraron el diseño de alimentos impresos en 3D utilizando proteína de soja y col lombarda. La investigación se centra en la modificación de la textura mediante la incorporación de col lombarda en las matrices de proteína de soja. Se analizaron las propiedades reológicas y la precisión de la impresión de las muestras. Se encontró que la adición de col lombarda influyó significativamente en las propiedades reológicas de las matrices de proteína de soja, afectando la viscosidad y la capacidad de impresión. Las muestras impresas fueron evaluadas en términos de uniformidad y textura, observándose un aumento en la dureza y la masticabilidad con diferentes tasas de relleno. Esta investigación demostró el potencial de la impresión 3D para desarrollar alimentos con texturas modificadas que puedan satisfacer las demandas de consumidores con necesidades específicas.

1.9 Avances en oleogeles a base de almidón

Los oleogeles son utilizados en la industria de alimentos para convertir la estructura de un aceite líquido en un material similar al de los geles, el cual puede ser empleado como agente gelificante capaces de proveer estructura, lo cual es ideal para la impresión de alimentos en 3D. Los oleogeles son una alternativa con respecto a las grasas sólidas

tradicionales que contienen alto contenido de ácidos grasos saturados y trans. Además, los oleogeles cargados de compuestos bioactivos pueden ser utilizados para los diseños personalizados de alimentos bajo condiciones de salud específicas (Kavimughil et al., 2022; Kirtane et al., 2022; Wang, Li et al., 2023; Zhang et al., 2022).

En el estudio realizado por Zhong et al., (2024), se investigó el gel de almidón y yema de huevo en polvo como una nueva tinta para la impresión 3D de alimentos. El estudio evaluó el rendimiento de impresión 3D, analizando propiedades como el módulo de almacenamiento, el módulo de pérdida, la viscosidad aparente y la dureza de los geles impresos. Se añadieron diferentes concentraciones de almidón de patata y almidón de maíz para controlar las propiedades del gel. Los resultados mostraron que el gel de yema de huevo en polvo con almidón de maíz presentó un rendimiento destacado en la impresión 3D de alimentos, demostrando propiedades controlables y adecuadas para aplicaciones alimentarias.

1.10 Aplicación en *snacks* y postres asiáticos

Pant et al. (2022) exploraron la impresión 3D de *snacks* y postres asiáticos utilizando ingredientes como harina de arroz, polvo de chai poh, pasta de ñame y nuez de ginkgo. El estudio se enfocó en la personalización nutricional y la creación de diseños estéticos utilizando tecnologías de impresión 3D por extrusión. Se utilizaron dos impresoras de alimentos comercialmente disponibles para probar diferentes formulaciones de tinta. Los resultados resaltaron la capacidad de la impresión 3D de alimentos para ofrecer productos alimenticios personalizados con formas innovadoras y atractivas, lo que permite adaptar la nutrición según las necesidades específicas de los consumidores. Esta investigación mostró el potencial de la impresión 3D en la creación de alimentos visualmente atractivos y nutritivos.

1.11 Impresión 3D de geles alimentarios naturales como aplicación de aditivos alimentarios innovadores

Uno de los desafíos de la impresión 3D es que sus características sean muy similares a las propiedades de los alimentos reales, así es que, para la obtención de hidrogeles alimentarios, se utilizan en su mayoría biopolímeros naturales originarios de lácteos, pescado y carne. Dado que estas presentan diferencias estructurales, los gelificantes varían a su vez en las estructuras moleculares y las funcionalidades de gel (Khalesi et al., 2020, Nicolai, 2019).

Se considera que los biopolímeros como el alginato, la gelatina y el colágeno, son sustratos potenciales para la impresión 3D (Pradhan, et al., 2021). El uso de tintas en hidrogel tiene beneficios en la personalización de los productos de impresión 3D. Para la formación de la estructura se utilizan aglutinantes líquidos para así poder aglomerar las partículas en polvo.

1.12 Los alimentos en 3D: seguridad alimentaria y comportamiento del consumidor

Otro aspecto importante que mencionan Alumno y Máñez García sobre la impresión 3D de alimentos es el planteamiento o consideraciones en términos de seguridad alimentaria y aceptación por parte del consumidor.

La seguridad alimentaria es una prioridad absoluta en la producción de alimentos, para lo que en la impresión en 3D se deben considerar aspectos como la selección de materias primas seguras y de alta calidad, lo cual implica utilizar ingredientes certificados y que cumplan con los estándares para prevenir riesgos microbiológicos y químicos.

La higiene y el control de contaminación serán protegidos bajo procesos controlados de impresión. Se suman, además, estrategias de validación de procesos para garantizar la consistencia y seguridad del producto final.

A la fecha, con relación al etiquetado y regulaciones alimentarias aplicables, estas obedecen a cada país, donde se proporcionará información clara sobre ingredientes, alérgenos y fechas de caducidad para garantizar la transparencia y la seguridad del consumidor.

Frente al comportamiento del consumidor, algunos aspectos a considerar son las percepciones y actitudes, siendo fundamental esencial comprender sus preocupaciones, preferencias y expectativas para adaptar los productos a sus necesidades y deseos. Además, la aceptabilidad que está estrechamente relacionada con su sabor, textura y apariencia, donde la investigación sensorial desempeña un papel crucial en la evaluación de la aceptabilidad del producto y en la optimización de la formulación para mejorar la experiencia del consumidor.

Dado que son productos de última generación en la industria alimentaria, la educación y la información pueden influir en su disposición a probar y adoptar estos productos. En este sentido, la concientización sobre los beneficios, la seguridad y la sostenibilidad puede fomentar una actitud más positiva hacia estos productos y en general a la innovación alimentaria.

1.13 Conclusiones

La impresión 3D de alimentos, aún sigue siendo un área en desarrollo, no obstante, es una tecnología que ofrece la posibilidad de personalizar la nutrición y crear diseños innovadores y funcionales para suplir necesidades específicas en el sector de los alimentos, pudiendo beneficiar al sector de la salud, al generarse alimentos específicos para ciertas patologías. Esta metodología mejorará la eficiencia en la producción,

con la versatilidad de fabricar alimentos de origen vegetal o animal garantizando la efectividad y la tendencia a procesos más sostenibles. A pesar de los desafíos restantes, ya existe una buena base de materias primas, sumado a las que se encuentran en estudio actualmente para el desarrollo de nuevos productos en la industria de alimentos.

Referencias

- Andrino, A., Morte, A. y Honrubia, M. (2011). Caracterización y cultivo de tres cepas de *Pleurotus eryngii* (Fries) Quélet sobre sustratos basados en residuos agroalimentarios. *Anales de Biología*, (33), 53-66.
- Jurikova, T., Mlcek, J., Skrovankova, S., Sumczynski, D., Sochor, J., Hlavacova, I., Snopek, L. and Orsavova, J. (2017). Fruits of black chokeberry aronia melanocarpa in the prevention of chronic diseases. *Molecules*, 22(6). <https://doi.org/10.3390/molecules22060944>.
- Lv, S., Li, H., Liu, Z., Cao, S., Yao, L., Zhu, Z., Hu, L., Xu, D. and Mo, H. (2024). Preparation of *Pleurotus eryngii* protein baked food by 3D printing. *Journal of Food Engineering*, 365. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2023.111845>.
- Pant, A., Zhang, Y., Kai Chua, C., Jia Yao Tan, J., Hashimoto, M., Huei Leo, C., Hooi Chuan Wong, G. and Tan, U. X. (2022). 3D food printing Asian snacks and desserts. *Materials Today: Proceedings*, 70, 611–615. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.08.563>.
- Peng, M., Gao, Z., Liao, Y., Guo, J. and Shan, Y. (2022). Development of Functional Kiwifruit Jelly with chenpi (FKJ) by 3D Food Printing Technology and Its Anti-Obesity and Antioxidant Potentials. *Foods*, 11(13). <https://doi.org/10.3390/foods11131894>.

- Pighín, A. F. y Rossi, A. L. (2010). Espinaca fresca, supercongelada y en conserva: contenido de vitamina c pre y postcocción. *Revista Chilena de Nutrición*, 37(2), 201-207. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182010000200009>.
- Pradhan, R. A., Rahman, S. S., Qureshi, A., and Ullah, A. (2021). *Biopolymers: opportunities and challenges for 3D printing. Biopolymers and their industrial applications*, 281-303. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819240-5.00012-2>.
- Torres Alvarado, F. G. (2006). El uso de fécula de papa (*Solanum tuberosum*) como alternativa de aglutinante en la elaboración de salchicha tipo Frankfurt. [Trabajo de grado Ingeniería Ambiental]. Universidad Técnica de Ambato, Ecuador.
- Vásquez, A. E. (2023). *Efecto de harina de alga cochayuyo (Durvillaea antártica) sobre la capacidad de impresión y propiedades termofísicas de un alimento impreso 3D a base de harina de arroz*. [Trabajo de Maestría en Ciencia de los Alimentos]. Universidad de Chile.
- Walayat, N., Xiong, H., Xiong, Z., Moreno, H. M., Nawaz, A., Niaz, N. and Randhawa, M. A. (2022). Role of Cryoprotectants in Surimi and Factors Affecting Surimi Gel Properties: A Review. *Food Reviews International*, 6(38) 1103–1122. <https://doi.org/10.1080/87559129.2020.1768403>.
- Wang, J. and Zhang, X. (2024). The potential of future foods for a sustainable future. *EFood*, 5(1). <https://doi.org/10.1002/efd2.133>.
- Wang, X., Zhang, M., Mujumdar, A. S. and Guo, Z. (2024). Study on improving flavor and antioxidant capacity of 3D printed spinach gel system by combining modified atmosphere and ambient temperature. *Food Bioscience*, 59. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.103888>.

- Wang, Q., Espert, M., Larrea, V., Quiles, A., Salvador A. and Sanz T. (2023). Comparison of different indirect approaches to design edible oleogels based on cellulose ethers. *Food Hydrocolloids*, 134. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.108007>.
- Zhan, J. Qi, Yu, W. Tao, Fu, J. Jing, Li, G. Shang, Hu, Y. Qin and Chen, Y. Wen. (2023). Peptides-carrageenan-xanthan gum: Printing mechanism and anti-oxidation under in vitro digestion. *Food Bioscience*, 53. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102546>.
- Zhang, S., Sun, Y., Nie, Q., Hu, J., Li, Y., Shi, Z., ... & Nie, S. (2024). Effects of four food hydrocolloids on colitis and their regulatory effect on gut microbiota. *Carbohydrate Polymers*, 323. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2023.121368>.
- Zhong, Y., Wang, B., Lv, W., Li, G., Lv, Y. and Cheng, Y. (2024a). Egg yolk powder-starch gel as novel ink for food 3D printing: Rheological properties, microstructure and application. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 91. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103545>.
- Zhou, Q., Nan, X., Zhang, S., Zhang, L., Chen, J., Li, J., Wang, H. and Ruan, Z. (2023). Effect of 3D Food Printing Processing on Polyphenol System of Loaded Aronia melanocarpa and Post-Processing Evaluation of 3D Printing Products. *Foods*, 12(10). <https://doi.org/10.3390/foods12102068>.
- Zou, J., Wang, J., Ye, W., Lu, J., Li, C., Zhang, D., Ye, W., Xu, S., Chen, C., Liu, P. and Liu, Z. (2022). Citri Reticulatae Pericarpium (Chenpi): A multi-efficacy pericarp in treating cardiovascular diseases. *Biomedicine and Pharmacotherapy*, (154). Elsevier Masson s.r.l. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2022.113626>.

2. Avances y desafíos de la nutrición animal en la producción animal sostenible

Pablo Betancur Penagos¹, Valentina Callejas Urrea²
PhD Marilza Piedad Ruíz Ruíz³, PhD Rubén Darío Hernández Escorcía⁴

Resumen

La nutrición de precisión es un campo emergente que adapta las estrategias nutricionales a las necesidades específicas de animales individuales o de grupos mediante el uso de tecnologías avanzadas y enfoques basados en datos. Esta revisión examina los avances recientes y las implicaciones de la nutrición de precisión en diversos sistemas de producción animal. Se analizan los avances en tecnologías como sensores, nutrigenómica y sistemas de alimentación automatizados, que han permitido soluciones nutricionales adaptadas. Estos enfoques han demostrado mejoras significativas en el crecimiento, la eficiencia, el rendimiento reproductivo y la reducción de trastornos metabólicos al tiempo que disminuyen el desperdicio de alimentos, los costos de producción y el impacto ambiental. Sin embargo, su implementación exitosa requiere abordar desafíos relacionados con la integración de datos, los marcos regulatorios y la colaboración interdisciplinaria. A medida que continúan las investigaciones y los avances tecnológicos, la nutrición de precisión está preparada para transformar la forma en

1 Estudiante del programa de Zootecnia de Unilasallista Corporación Universitaria.

2 Estudiante del programa de Zootecnia de Unilasallista Corporación Universitaria.

3 Docente de tiempo completo Unilasallista Corporación Universitaria.

4 Docente de tiempo completo Unilasallista Corporación Universitaria.

que abordamos la nutrición animal y contribuir a la sostenibilidad y resiliencia de los sistemas de producción animal.

Palabras clave: nutrición de precisión, producción animal sostenible, nutrigenómica, huella ambiental, uso eficiente de recursos, rentabilidad, ética.

1 Introducción

La nutrición de precisión, también conocida como alimentación de precisión o ganadería de precisión, es un campo emergente que tiene como objetivo adaptar las estrategias nutricionales a las necesidades específicas de animales individuales o de grupos de animales. Al aprovechar tecnologías avanzadas y enfoques basados en datos, la nutrición de precisión busca optimizar la salud animal, la productividad y la sostenibilidad al tiempo que minimiza los impactos ambientales. Esta revisión examina los avances recientes e implicaciones de la nutrición de precisión en diversos sistemas de producción animal.

La nutrición de precisión representa un cambio de paradigma en la forma en que abordamos la nutrición animal y todo el manejo en granja poniendo a nuestra disposición la información recopilada de manera inmediata para poder realizar una mejor toma de decisiones. Dentro de estas tecnologías se cuenta con la PLF (*Precision Livestock*) que emplea un sistema compuesto por sensores, algoritmos e interfaces que utilizan los datos de los animales en producción para la toma de decisiones (Kleen y Guatteo, 2023; Neethirajan et al., 2021). La **figura 1** presenta un diagrama de ejemplo de un sistema PLF. Los sistemas de alimentación de precisión han sido respaldados por algoritmos avanzados y técnicas de aprendizaje automático, lo que ha facilitado la entrega precisa de raciones personalizadas a animales individuales o grupos, según sus requisitos nutricionales específicos, aumentando la eficiencia alimentaria y reduciendo el desperdicio; la integración de tecnologías de sensores ha permitido el monitoreo en tiempo real del rendimiento individual

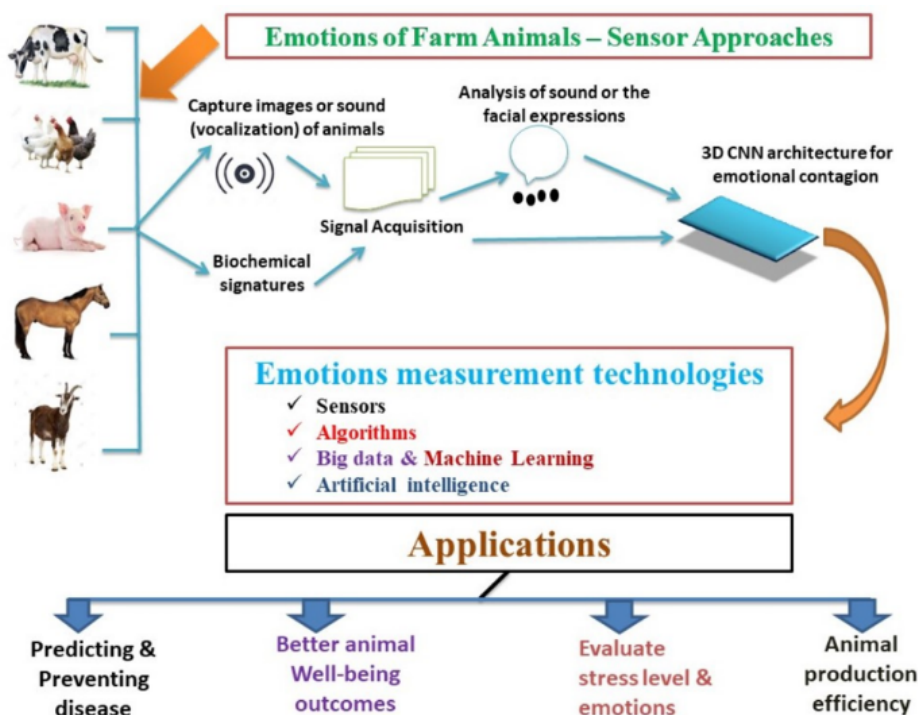
de los animales, el comportamiento y las condiciones ambientales, proporcionando una comprensión más profunda de las interacciones.

2.2 Sistemas de alimentación de precisión

Los sistemas de alimentación automatizados son respaldados por algoritmos avanzados y técnicas de aprendizaje automático, los cuales han facilitado la entrega precisa de raciones personalizadas a grupos o individuos animales, según sus requisitos nutricionales específicos.

Figura 1.

Estructura de un sistema de captura de emociones como indicadores de condiciones de bienestar animal en granja



Nota. Neethirajan et al. (2021).

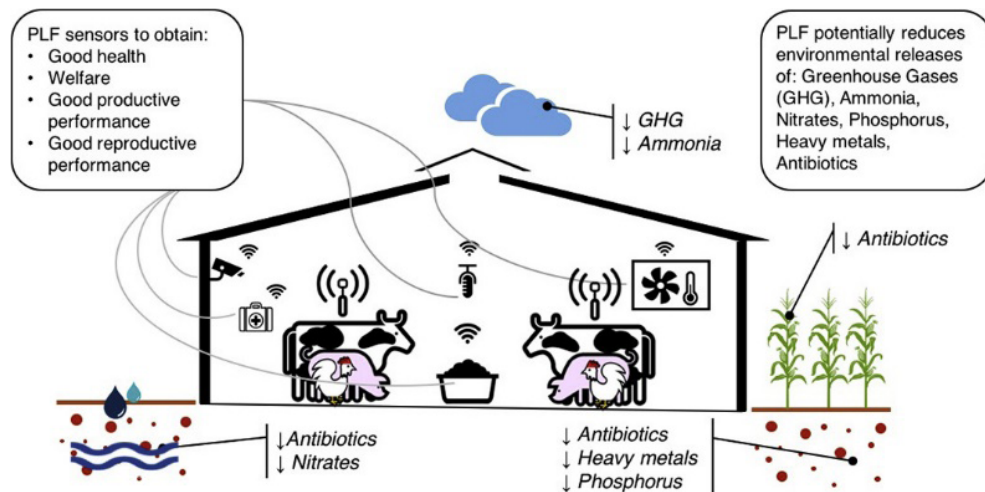
Como se presentan en cerdas en gestación grupal donde hay canales de ingreso individual de alimentación en los cuales se realiza la lectura de un microchip para la liberación adecuada de alimento, o en ganado de leche que en el momento de ordeño con solo digitar su número de identificación se libera la cantidad de alimento concentrado adecuado para su producción láctea, estos sistemas han demostrado aumentar la eficiencia alimentaria y reducir el desperdicio. A continuación, se describirán parte de las tecnologías disponibles para tal fin.

• Sensores

La integración de tecnologías de sensores, como dispositivos portátiles, sistemas de imágenes y monitoreo ambiental, ha permitido el monitoreo en tiempo real del rendimiento individual de los animales, el comportamiento y las condiciones ambientales.

Figura 2.

Uso de sensores en producciones pecuarias



Nota. Tullo et al.,2019.

Estos avances han proporcionado una comprensión más profunda de las necesidades nutricionales específicas y han facilitado la toma de decisiones informadas, al permitir medir el nivel de salud, bienestar, eficiencia en la reproducción y producción, consumo de alimento, conversión alimenticia de los animales del sistema, además de muchos más parámetros de interés zootécnico, se logra así una disminución en costos veterinarios, brindando mayor rentabilidad a largo y corto plazo; además de prolongar el uso de los animales para producción, respetando a su vez los principios de bienestar animal, como se aprecia en la **figura 2** (Tullo *et al.*, 2019).

- **Nutrigenómica y Nutrigenética**

Estas disciplinas han revolucionando el campo de la nutrición de precisión, al permitir comprender las complejas interacciones entre los nutrientes, los genes y la expresión génica. En animales de producción el fenotipo toma un papel de alta importancia ya que este se compone por la genética y el ambiente al que se somete el ejemplar, lo que determinará qué componentes tendrán una mayor expresión en rasgos productivos y cuáles no. En este sentido, la nutrigenómica se enfoca en cómo los nutrientes afectan la expresión de los genes, y la nutrigenética se centra en cómo las variaciones genéticas influyen en la respuesta a los nutrientes, permitiendo el desarrollo de dietas personalizadas adaptadas al perfil genético de un animal.

Esta información genética puede utilizarse para optimizar la eficiencia nutricional y mejorar el rendimiento animal. Un estudio reciente en pollos de engorde encontró que la suplementación nutricional basada en el perfil genómico mejoró el rendimiento de crecimiento en un 15 % en comparación con las dietas convencionales (Mačuhová *et al.*, 2021)

2.3 Implicaciones para la salud y la productividad animal

Crecimiento y eficiencia optimizados: las estrategias de nutrición de precisión han demostrado mejorar significativamente la eficiencia alimentaria, las tasas de crecimiento y la productividad general en varias especies al proporcionar perfiles de nutrientes adaptados. Li *et al.* (2020) reportan que el uso de la alimentación de precisión y sensores a través del monitoreo de sonidos y comportamiento en diferentes estudios en pollos de engorde y gallinas ponedoras generó una precisión del 90 % en el tamaño de porción y del 95 % en la duración de la porción, con respecto al número de porciones diarias y a la tasa de alimentación la tasa precisión fue del 84 % y del 89 %, respectivamente.

Al proporcionar perfiles de nutrientes adaptados a las necesidades individuales de los animales, se puede lograr un mejor rendimiento en términos de crecimiento y producción. Esto no solo beneficia a los productores al aumentar su rentabilidad, sino que también contribuye a una mayor sostenibilidad en la industria pecuaria.

Cuando los animales reciben una alimentación precisa y equilibrada, su organismo funciona de manera más eficiente. Esto se traduce en una mejor digestión, absorción y utilización de nutrientes, lo que a su vez contribuye a un rendimiento optimizado. Los animales tienen más energía, mejor desarrollo muscular y mayor resistencia frente a enfermedades, lo que a su vez se representa una mejora en la calidad de los productos animales, al ofrecer una dieta adecuada y equilibrada, se obtienen alimentos más saludables y nutritivos para los consumidores.

Mejor rendimiento reproductivo: las intervenciones nutricionales específicas durante las etapas reproductivas críticas, basadas en el monitoreo preciso de los requisitos individuales, han demostrado mejorar la fertilidad, ya que un animal que no está supliendo sus requerimientos es un animal que no logra preñarse o mantener la

gestación debido a múltiples deficiencias nutricionales. En este sentido, al usar los sensores de nutrición de precisión puede generarse un aumento en las tasas de concepción y el éxito reproductivo general, tanto en machos como en hembras.

El monitoreo preciso de los requisitos individuales de cada animal es clave para lograr resultados óptimos. Al comprender las necesidades nutricionales específicas de cada individuo, se pueden ajustar las dietas y suplementos para satisfacer sus demandas durante los momentos críticos del ciclo reproductivo, además también se podrían prevenir posibles complicaciones y problemas relacionados con la fertilidad. Proporcionar una alimentación equilibrada y adaptada a las necesidades individuales minimiza los riesgos asociados con pérdidas en la reproducción (Naik *et al.*, 2022).

Reducción de trastornos metabólicos: el uso de sensores para recolección automática de datos, *software* y clasificación de actividades empleados para el monitoreo continuo del comportamiento alimenticio, es crítico para la salud ruminal, la productividad y el bienestar (Morrone *et al.*, 2022).

Al ajustar con precisión el suministro de nutrientes a los requisitos individuales de los animales, la nutrición de precisión puede ayudar a mitigar significativamente el riesgo de trastornos metabólicos, como cetosis, acidosis y deficiencias nutricionales.

Gusterer (2020) reporta que el tiempo y la actividad ruminal están correlacionados con desordenes clínicos y subclínicos, y por tanto, el monitoreo continuo de parámetros de comportamiento, psicológicos y patológicos de las vacas de alta producción puede ayudar a la detección temprana de cambios en estos parámetros.

La integración de diferentes tipos de datos, como genómicos, metabolómicos y de exposición ambiental, puede permitir la identificación de biomarcadores predictivos de riesgo de enfermedad y la estratificación de individuos en diferentes grupos de riesgo (Rani

et al., 2020). Así, la nutrición de precisión permite identificar posibles desequilibrios nutricionales antes de que se conviertan en problemas graves para la salud del animal (Guasch-Ferré y Hu, 2019).

2.4 Implicaciones ambientales y económicas

Con el crecimiento continuo de la población mundial y las crecientes preocupaciones sobre el cambio climático y el agotamiento de los recursos naturales, es crucial adoptar enfoques innovadores como la nutrición de precisión para garantizar un futuro sostenible. Al optimizar la utilización de nutrientes y apuntar a los requisitos específicos de los animales, las estrategias de nutrición de precisión han mejorado sustancialmente el uso eficiente de recursos como agua, energía y tierra, contribuyendo a la sostenibilidad ambiental.

Mediante la entrega precisa de nutrientes y minimizando el suministro excesivo o insuficiente, la nutrición de precisión ha demostrado una reducción significativa en el desperdicio de alimentos, disminuyendo los costos de producción y reduciendo la huella ambiental de los sistemas de producción animal (Magallanes et al., 2021). Además, al reducir el desperdicio de alimentos se disminuyen los costos asociados con la producción animal, lo cual se traduce en un impacto económico significativo para los productores.

La nutrición de precisión permite también una optimización del uso de tierras agrícolas, impactando en una producción más sostenible a largo plazo. Se pueden producir mayores cantidades de alimentos utilizando menos tierra, lo que ayuda a satisfacer las crecientes demandas alimentarias sin causar una deforestación adicional o una expansión excesiva de las áreas agrícolas, además de tener un impacto positivo en el medio ambiente al reducir la contaminación del suelo y del agua disponible.

2.5 Programas de optimización de alimentos en la producción animal

Los programas de nutrición de precisión para animales tienen como objetivo formular raciones óptimas que maximicen la eficiencia de la producción y minimicen el desperdicio de nutrientes. Estos programas utilizan datos fenotípicos, genómicos, ambientales y de manejo para predecir con precisión los requerimientos nutricionales individuales de cada animal que permitan diseñar una formulación y entrega óptima de raciones a través de la integración de diversas tecnologías, como sensores de monitoreo, análisis genómicos, modelado computacional y sistemas de alimentación automatizados (Guasch-Ferré y Hu, 2019).

2.6 Desafíos y direcciones futuras

Estos desafíos están asociados a la integración y gestión de datos, requieren la integración de modelos de sistemas de producción para una implementación exitosa tanto en sistemas confinados como extensivos de diferentes especies animales destinadas a la producción pecuaria. Esta situación representa un desafío significativo en términos de gestión y análisis de datos, y requiere el desarrollo de plataformas y herramientas robustas para recopilar, almacenar y analizar estos datos de manera eficiente, para asegurar la calidad y fiabilidad de los mismos datos que se han recopilado. Se suman, además, las consideraciones regulatorias y éticas asociadas con la privacidad de datos, el bienestar animal y el uso responsable de las tecnologías emergentes. Se necesitan marcos normativos y directrices éticas sólidas para garantizar una implementación responsable (Görman *et al.*, 2019).

Además, el uso responsable de las tecnologías emergentes implica considerar sus posibles implicaciones sociales y medioambientales, es necesario tener en cuenta los posibles impactos negativos que pueden surgir al utilizar tecnologías avanzadas en la producción animal,

resulta importante asegurarse de que estas herramientas se utilicen para mejorar la salud y el bienestar de los animales en lugar de causar daño o sufrimiento innecesario.

Por último, la colaboración interdisciplinaria entre científicos animales, nutricionistas, genetistas, ingenieros, analistas de datos y otros expertos será fundamental para abordar los desafíos y aprovechar al máximo el potencial de la nutrición de precisión.

2.7 Conclusiones

La nutrición de precisión presenta un enfoque prometedor para optimizar la salud animal, la productividad y la sostenibilidad en diversos sistemas de producción animal. Los avances tecnológicos como sensores, nutrigenómica y sistemas de alimentación automatizados han permitido soluciones nutricionales adaptadas que satisfacen las necesidades específicas de animales individuales o grupos.

Estos enfoques han demostrado mejoras significativas en el crecimiento, la eficiencia, el rendimiento reproductivo y la reducción de trastornos metabólicos, al tiempo que disminuyen el desperdicio de alimentos, los costos de producción y el impacto ambiental.

La implementación exitosa de la nutrición de precisión requiere abordar desafíos relacionados con la integración de datos, los marcos regulatorios y la colaboración interdisciplinaria. A medida que continúan las investigaciones y los avances tecnológicos, la nutrición de precisión está preparada para transformar la forma en que abordamos la nutrición animal y contribuir a la sostenibilidad y resiliencia de los sistemas de producción animal.

Referencias

- Görman, U., Ahlgren, J. and Nordström, K. (2019). A promising approach for disease prevention and management. *Nutrients*, 14(9), 1890. <https://doi.org/10.3390/nu14091890>.
- Guasch-Ferré, M. and Hu, F. B. (2019). Precision nutrition: An update and perspective. *Current Opinion in Biotechnology*, 60, 235-241. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2019.04.008>.
- Gusterer, E., Kanz, P., Krieger, S., Schweinzer, V., Süss, D. and Lidauer, L. (2020). Sensor technology to support herd health monitoring: Using rumination duration and activity measures as unspecific variables for the early detection of dairy cows with health deviations. *Theriogenology* 157, 61-69, <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2020.07.028>.
- Kleen, J. L. and Guatteo, R. (2023). Precision Livestock Farming: What Does It Contain and What Are the Perspectives? *Animals* 13(5), 779-794. <https://doi.org/10.3390/ani13050779>.
- Li, N., Ren, Z., Li, D. and Zeng, L. (2020). Review: Automated techniques for monitoring the behaviour and welfare of broilers and laying hens: towards the goal of precision livestock farming. *Animal*, 14(3), 617-625. <https://doi.org/10.1017/S1751731119002155>.
- Magallanes, C., Quispe, S. A. y Williams, C. (2021). *Revisión sistemática: impactos ambientales generados por desperdicio de alimentos*. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/82353>.
- Mačuhová, J., Malúšková, A., Tančin, V., Tančinová, D. and Uhlík, R. (2021). Nutrigenomics: The role of nutrients in regulating gene expression. *Biomedical Papers*, 165(1), 23-30. <https://doi.org/10.5507/bp.2020.020>.
- Morrone S, Dimauro C, Gambella F, Cappai MG. (2022). Industry 4.0 and Precision Livestock Farming (PLF): An up-to-Date Overview

across Animal Productions. *Sensors*, 22(12), 4319. <https://doi.org/10.3390/s22124319>.

Naik, P. K., Saijpaul, S. and Rani, N. (2022). Precision nutrition: A promising approach to reduce days open in dairy cattle. *Veterinary World*, 15(4), 887-895. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2022.887-895>.

Neethirajan, S., Reimert, I. and Kemp, B. (2021). Measuring Farm Animal Emotions-Sensor Based Approaches. *Sensors*, 21(2), 553. <https://doi.org/10.3390/s21020553>.

Rani, N. (2020). Precision nutrition for disease prevention: Advances and perspectives. *Nutrients*, 14(5), 992. <https://doi.org/10.3390/nu14050992>

Tullo, E., Finzi, A. and Guarino, M. (2019). Review: Environmental impact of livestock farming and Precision Livestock Farming as a mitigation strategy. *The Science of the total environment*, 650(Pt 2), 2751-2760. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.018>.

3. Avances recientes en microencapsulación de compuestos bioactivos para aplicaciones alimentarias: una revisión bibliográfica

María José Correa Villa¹, Elizabeth Osorio Borja²

PhD Marilza Piedad Ruiz Ruiz³, PhD Rubén Darío Hernández Escorcía⁴

Resumen

La microencapsulación es una técnica fundamental en la industria alimentaria para proteger y entregar compuestos bioactivos en productos alimenticios. En este artículo de revisión se examinan recientes avances y enfoques en microencapsulación, empleando métodos como la liofilización y el secado por pulverización para evaluar su efecto en la calidad y estabilidad de algunos productos alimenticios, tales como extractos de frutas y pigmentos de antocianinas. Además, se explora la aplicación de la microencapsulación en la fortificación de alimentos con vitaminas y probióticos, así como la coencapsulación de probióticos con prebióticos en productos lácteos funcionales. Este artículo de revisión resalta la importancia de la microencapsulación para mejorar la estabilidad y la biodisponibilidad de compuestos bioactivos en alimentos, y propone futuras direcciones de investigación para optimizar su aplicación en la industria alimentaria.

1 Estudiante del programa de Ingeniería de Alimentos de Unilasallista Corporación Universitaria.

2 Estudiante del programa de Ingeniería de Alimentos de Unilasallista Corporación Universitaria.

3 Docente Tiempo completo Unilasallista Corporación Universitaria

4 Docente Tiempo completo Unilasallista Corporación Universitaria

Autor para correspondencia: mcorrea10@unilasallista.edu.co.

Palabras clave: microencapsulación, nanoencapsulación, compuesto bioactivo.

3.1 Introducción

En la industria alimentaria, los procesos de encapsulación –tanto la microencapsulación como la nanoencapsulación– han surgido como tecnologías innovadoras con un potencial significativo para proteger y entregar compuestos bioactivos en productos alimenticios, mejorando su estabilidad, biodisponibilidad y funcionalidad. La microencapsulación implica el recubrimiento de ingredientes activos dentro de matrices protectoras para aislarlos de condiciones adversas como luz, oxígeno y humedad, que pueden degradar su calidad, estabilidad y eficacia.

El interés en esta área de investigación radica en la capacidad de la microencapsulación para mejorar la calidad y la vida útil de los alimentos funcionales, ofreciendo beneficios adicionales en términos de salud y nutrición, desde la fortificación de productos cotidianos con nutrientes esenciales hasta la producción de alimentos funcionales avanzados que promueven el bienestar humano.

Varios autores han estudiado variables y técnicas relacionadas con encapsulación. Tahir *et al.* (2021) publicaron una revisión sobre nanoencapsulación, resaltan factores como la formulación y fabricación utilizando materiales de recubrimiento apropiados. Asimismo, examinan métodos como coacervación, complejación de inclusión y secado por pulverización y señalan su eficacia en la protección de componentes bioactivos y su potencial para la entrega controlada a sistemas biológicos específicos.

Marcillo-Parra *et al.* (2021), evaluaron las técnicas de encapsulación para proteger compuestos bioactivos de subproductos de frutas y verduras, resaltando su eficiencia en la producción de compuestos encapsulados con propiedades mejoradas.

Además, estudios como los publicados por Ezhilarasi *et al.* (2013) y Furuta y Neoh, (2021), demuestran la aplicación exitosa de la microencapsulación en la preservación de compuestos activos y en la mejora de la calidad de los alimentos.

En este artículo de revisión trataremos de abordar avances recientes en encapsulación –microencapsulación y nanoencapsulación– y su aplicación en la industria alimentaria a través de una variedad de estudios científicos publicados. Se presentan algunos de los métodos empleados para microencapsulación, tales como la liofilización y el secado por pulverización, y su efecto sobre la estabilidad de compuestos bioactivos.

Bajo estos hallazgos se proponen áreas de investigación futuras para optimizar estas tecnologías, con el propósito de promover una mayor comprensión y aplicación de la microencapsulación y de la nanoencapsulación en la producción de alimentos innovadores y de alta calidad, contribuyendo así al avance continuo de la industria alimentaria.

3.2 Métodos de encapsulación

La encapsulación es una técnica versátil que ofrece diversas formas de proteger y entregar compuestos bioactivos en productos alimenticios. Se han empleado diversas técnicas de encapsulación, tales como la liofilización, el secado por pulverización y la coacervación, entre otras, para proteger y entregar compuestos bioactivos en alimentos. Estas técnicas han demostrado eficacia en la encapsulación de extractos de frutas, pigmentos naturales, vitaminas, probióticos y otros componentes beneficiosos para la salud. A continuación, se describen algunos de estos métodos empleados para la encapsulación, en los diferentes artículos de estudio revisados.

3.2.1 Liofilización

La liofilización es un método ampliamente empleado para la microencapsulación de compuestos sensibles al calor y a la humedad. Consiste en congelar la solución que contiene el compuesto bioactivo y luego someterla a un proceso de sublimación al vacío, eliminando así el agua sin que se produzcan cambios significativos en la estructura del material encapsulado. Este método fue utilizado por Ezhilarasi *et al.* (2013) para la microencapsulación del extracto de fruta de garcinia evaluaron como variables de control la concentración del extracto de fruta, el rango de tamaño de partícula y la recuperación de ácido hidroxícitrico como compuesto bioactivo, con el fin de evaluar su impacto en la calidad del pan.

Los resultados del estudio indicaron que el pan elaborado con las microcápsulas presentó un mayor volumen, una textura de miga más suave, un color más deseable y atributos sensoriales favorables. Estos hallazgos sugieren que la proteína encapsulada demostró una excelente eficiencia durante el proceso de horneado del pan, lo que podría tener implicaciones positivas en la calidad y beneficios para la salud del producto final.

3.2.2 Secado por pulverización

El secado por pulverización es otro método común para la microencapsulación, especialmente adecuado para ingredientes solubles en agua. En este proceso, una solución que contiene el compuesto bioactivo se pulveriza en una corriente de aire caliente, lo que provoca la evaporación rápida del solvente y la formación de partículas sólidas encapsuladas. Osorio *et al.* (2010) emplearon esta técnica para encapsular pigmentos antioxidantes del corozo (*Bactris guineensis*). Inicialmente, se obtuvieron cuatro extractos etanólicos de antocianinas (AEE) mediante deshidratación osmótica y extracción Soxhlet. Posteriormente, los extractos con el mayor contenido de AEE fueron sometidos al proceso de secado empleando maltodextrina como

ayudante de pared. Finalmente, los polvos obtenidos fueron analizados mediante microscopía electrónica de barrido (SEM).

Los resultados obtenidos resaltan la viabilidad de la microencapsulación de antocianinas del fruto de corozo, empleando la técnica de secado por atomización. Los polvos obtenidos podrían ser utilizados en la industria alimentaria como aditivos naturales para la coloración de alimentos, ser incorporados en formulaciones de productos dietéticos y en la industria cosmética, debido a sus propiedades antioxidantes y beneficiosas para la piel.

3.2.3 Coacervación

La coacervación es un método basado en la separación de fases de polímeros en solución, donde una fase líquida rica en polímeros forma gotas alrededor del compuesto a encapsular. Esta técnica permite la encapsulación de sustancias hidrofílicas e hidrofóbicas y se utiliza en aplicaciones como la encapsulación de probióticos y prebióticos. Frakolaki et al. (2021) emplearon la técnica de coacervación para la microencapsulación de cepas probióticas, controlando como variables de proceso la concentración de los materiales de encapsulación, el tamaño de las partículas, la temperatura de encapsulación, la velocidad de agitación, el pH del medio y el tiempo de secado. Los resultados encontrados indican que la encapsulación de cepas probióticas mediante la técnica de coacervación mejoró la viabilidad y eficiencia de los microorganismos en productos alimenticios funcionales ya que esta técnica permite la protección de las células probióticas durante el procesamiento, el almacenamiento y el paso por el tracto gastrointestinal, garantizando su llegada al intestino en cantidades suficientes para ejercer sus efectos beneficiosos en la salud.

Otra forma de aplicación de la coacervación en alimentos es la microencapsulación de vitaminas. Dhakal y He (2020) sugieren que esta técnica puede mejorar la estabilidad, la biodisponibilidad y la eficacia de las vitaminas, de forma tal que se pueda garantizar que los consumidores

reciban los beneficios nutricionales completos de estos compuestos esenciales. La adecuada microencapsulación de vitaminas permitirá el desarrollo y la innovación de productos alimenticios fortificados y suplementos dietéticos que pueden contribuir a abordar deficiencias nutricionales y mejorar la salud de la población.

3.2.4 Coencapsulación

Este tipo de tecnología de encapsulación se emplea con el fin de mejorar la estabilidad y viabilidad de los probióticos en el tracto digestivo humano. Rashidinejad *et al.* (2022), evaluaron la coencapsulación de probióticos con prebióticos y su posible aplicación en productos lácteos funcionales, como un enfoque alternativo y novedoso para mejorar la entrega oral y su liberación en el intestino del huésped. Los resultados obtenidos destacan la mejora en la estabilidad y viabilidad de los probióticos en el tracto digestivo humano.

3.2.5 Encapsulación por complejación de inclusión

La encapsulación por complejación de inclusión se basa en la formación de complejos entre el compuesto bioactivo y ciertos polímeros o moléculas portadoras que protegen y estabilizan el compuesto. Este enfoque se utiliza para la encapsulación de vitaminas y otros nutrientes sensibles (Tahir *et al.*, 2021).

La **tabla 1** presenta algunos de los estudios publicados empleando la encapsulación (micro y nano) indicando sus funciones en una variedad de componentes alimentarios, incluyendo compuestos fenólicos, antioxidantes, colorantes naturales de alimentos, agentes antimicrobianos, aceites esenciales, minerales, sabores y vitaminas.

Además, se han utilizado técnicas como la cromatografía de gases (GC) y la cromatografía líquida de alta resolución (HPLC), para estudiar la estructura, composición, propiedades físicas y químicas de los sistemas de encapsulación y evaluar la eficacia de la encapsulación de los componentes alimentarios. En este sentido la relevancia de la

encapsulación en la industria alimentaria radica en su capacidad para mejorar la calidad, la seguridad y la funcionalidad de los alimentos, así como en su potencial para desarrollar productos innovadores y beneficiosos para la salud de los consumidores.

Tabla 1.

Estudios sobre encapsulación

Categorías	Funciones	Autores
Microencapsulación de compuestos bioactivos	Proteger y entregar compuestos bioactivos en productos alimenticios	Calderón-Oliver, M. y Ponce-Alquicira, E. (2022).
	Mejorar la estabilidad y biodisponibilidad de los compuestos bioactivos en los alimentos	Osorio, C., Acevedo, B., Hillebrand, S., Carriazo, J., Winterhalter, P. y Morales, A. L. (2010).
Encapsulación de compuestos bioactivos de frutas y vegetales	Estudio de la encapsulación de compuestos bioactivos de subproductos de frutas y vegetales para aplicaciones alimentarias	Marcillo-Parra, V., Tupuna-Yerovi, D. S., González, Z. y Ruales, J. (2021).
Utilización de subproductos alimentarios	Explorar el uso de subproductos alimentarios en el desarrollo y elaboración de alimentos funcionales	Comunian, T. A., Silva, M. P. y Souza, C. J. F. (2021)
Técnicas de encapsulación específicas	Evaluar técnicas específicas como la liofilización y el secado por pulverización para la encapsulación de compuestos bioactivos	Ezhilarasi, P. N., Indrani, D., Jena, B. S. y Anandharamakrishnan, C. (2013).
Coencapsulación de probióticos con prebióticos	Estudiar la coencapsulación de probióticos con prebióticos y su aplicación en productos lácteos funcionales	Rashidinejad, A., Bahrami, A., Rehman, A., Rezaei, A., Babazadeh, A., Singh, H. y Jafari, S. M. (2022).
Liofilización y estabilidad microbiológica	Evaluar la influencia del proceso de liofilización en la estabilidad microbiológica de productos como el yogurt	Dos Santos, G., Pacheco Nunes, T., Aparecida, M., Da Silva, A. P. y Rosenthal, A. (2015).

Nota. Elaborada por los autores.

3.3 Aplicaciones de la encapsulación en la industria alimentaria

La encapsulación, micro y nano, ofrece numerosas aplicaciones en la industria alimentaria pues permite la protección, estabilización y liberación controlada de compuestos bioactivos en una variedad de productos. Se destaca el potencial de estas tecnologías para mejorar las propiedades de los alimentos en términos de atributos sensoriales, almacenamiento, nutrición y salud. A continuación, se describen algunas de las aplicaciones más relevantes.

- **Fortificación de alimentos con nutrientes**

La microencapsulación se utiliza ampliamente para la fortificación de alimentos con vitaminas, minerales y otros nutrientes. Esta técnica asegura una mayor estabilidad y biodisponibilidad de los nutrientes añadidos, mejorando así el valor nutricional de los alimentos (Dhakal y He, 2020).

- **Entrega controlada de sabores y aromas**

La encapsulación se aplica en aromas y sabores, permitiendo una liberación controlada durante la producción o consumo de alimentos. Esta aplicación mejora la calidad sensorial de los productos y proporciona una experiencia gastronómica más agradable para los consumidores (Tahir et al., 2021)

- **Protección de ingredientes sensibles**

Compuestos bioactivos sensibles al calor, la luz o la humedad, como los probióticos y los extractos de frutas, pueden beneficiarse de la microencapsulación para proteger su viabilidad y actividad. Frakolaki et al. (2021) reportan cómo la microencapsulación puede mejorar la supervivencia de probióticos durante la fabricación y el almacenamiento de alimentos funcionales. La implementación de técnicas de microencapsulado como las previamente mencionadas

(coacervación, liofilización y pulverización), pueden mejorar la viabilidad de las células probióticas y protegerlas durante el paso por el tracto gastrointestinal.

- **Desarrollo de alimentos funcionales**

La encapsulación es fundamental en el desarrollo de alimentos funcionales, mejorando la inclusión de compuestos bioactivos, probióticos y prebióticos, y su uso en el tracto digestivo del consumidor (Rashidinejad *et al.*, 2022).

- **Estabilidad y vida útil mejoradas**

La encapsulación contribuye a una mayor estabilidad y vida útil de los alimentos al proteger los ingredientes sensibles de factores ambientales adversos (Ezhilarasi *et al.*, 2013). En este sentido, la aplicación de la técnica de encapsulación en diversas matrices alimentarias ha resultado en el desarrollo de productos funcionales, mejora sensorial y conservación de alimentos. Se espera que sus usos se extiendan al diseño de alimentos con reducción de grasa, encapsulación de compuestos polifenólicos, bacteriocinas y otros antimicrobianos naturales (Comunian *et al.*, 2021; Calderón-Oliver y Ponce-Alquicira, 2022).

3.4 Conclusiones

En conclusión, la nanoencapsulación y la microencapsulación son herramientas claves para la innovación en la industria alimentaria, ofrecen beneficios en términos de calidad, estabilidad y funcionalidad de los alimentos.

Se requiere continuar investigando el tema y optimizando estas tecnologías para la aplicación en la producción de alimentos innovadores y de alta calidad, promoviendo así el avance continuo en el campo de la ciencia de los alimentos.

Este artículo proporciona una visión del uso de la nanoencapsulación y la microencapsulación en la industria de los alimentos, destaca su importancia y su potencial para transformar la forma en que se desarrollan, formulan y procesan los alimentos, con el fin de entregar productos funcionales que aporten mayores beneficios a la salud de los consumidores y que nos permita avanzar e implementar tecnologías a la industria alimentaria.

Referencias

- Calderón-Oliver, M. and Ponce-Alquicira, E. (2022). The Role of Microencapsulation in Food Application. *Molecules*, 27(5), 1499. <https://doi.org/10.3390/molecules27051499>.
- Comunian, T. A., Silva, M. P. and Souza, C. J. F. (2021). The use of food by-products as a novel for functional foods: Their use as ingredients and for the encapsulation process. *Trends in Food Science and Technology*, (108), 269-280. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.003>.
- Dhakar, S. P. and He, J. (2020). Microencapsulation of vitamins in food applications to prevent losses in processing and storage: A review. *Food Research International*, (137), 109326. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109326>.
- Ezhilarasi, P. N., Indrani, D., Jena, B. S. and Anandharamakrishnan, C. (2013). Freeze drying technique for microencapsulation of Garcinia fruit extract and its effect on bread quality. *Journal of Food Engineering*, 117(4), 513–520. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.01.009>
- Frakolaki, G., Giannou, V., Kekos, D. and Tzia, C. (2021). A review of the microencapsulation techniques for the incorporation of probiotic bacteria in functional foods. *Critical Reviews in Food Science*

- and *Nutrition* 61(9), 1515-1536. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1761773>.
- Furuta, T. and Neoh, T. L. (2021). Microencapsulation of food bioactive components by spray drying: A review. *Drying Technology*, 39(12), 1800-1831. <https://doi.org/10.1080/07373937.2020.1862181>.
- Dos Santos. G., Pacheco Nunes, T., Aparecida, M., da Silva, A. P. and Rosenthal, A. (2015). Influence of lyophilization on the microbiological stability of yogurt. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 6(1), 69-77. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20153345365>.
- Marcillo-Parra, V., Tupuna-Yerovi, D. S., González, Z. and Ruales, J. (2021). Encapsulation of bioactive compounds from fruit and vegetable by-products for food application. A review. *Trends in Food Science and Technology*, (116), 11-23. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.07.009>.
- Osorio, C., Acevedo, B., Hillebrand, S., Carriazo, J., Winterhalter, P. and Morales, A. L. (2010). Microencapsulation by spray-drying of anthocyanin pigments from corozo (*Bactris guineensis*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(11), 6977-6985.
- Rashidinejad, A., Bahrami, A., Rehman, A., Rezaei, A., Babazadeh, A., Singh, H. and Jafari, S. M. (2022). Co-encapsulation of probiotics with prebiotics and their application in functional/synbiotic dairy products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(9), 2470-2494. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1854169>.
- Tahir, A., Shabir Ahmad, R., Imran, M., Ahmad, M. H., Kamran Khan, M., Muhammad, N., Nisa, M. U., Tahir Nadeem, M., Yasmin, A., Tahir, H. S., Zulifqar, A. and Javed, M. (2021). Recent approaches for utilization of food components as nano-encapsulation: a review. *International Journal of Food Properties* 24(1), 1074-1096. <https://doi.org/10.1080/10942912.2021.1953067>.

4. Desarrollo de productos *plant based*

Valeria Duque Giraldo¹, Juliana Piedrahita Arbeláez²

PhD Marilza Piedad Ruiz Ruiz³, PhD Rubén Darío Hernández Escorcia⁴

Resumen

En la actualidad existe una inclinación creciente por el consumo de productos análogos de derivados animales, entre ellos, los productos lácteos. Esto debido a la creciente preocupación de los consumidores por el medio ambiente, el cuidado de los animales y las intolerancias alimentarias. Sin embargo, muchos de los consumidores no tienen en cuenta los aspectos nutricionales que aportan este tipo de productos y cómo contribuyen a su salud. Este artículo evalúa las condiciones previas de viabilidad para el desarrollo de helado a base de plantas que contenga las características nutricionales más relevantes de la leche de vaca y el beneficio de los probióticos que existe en el yogurt.

Palabras clave: fermentación, *plant based*, probióticos, sustituto lácteo.

4.1 Introducción

El consumo de leches vegetales y derivados lácteos a base de vegetales, granos o leguminosas, conocidas como *plant based*, ha tenido un

1 Estudiante del programa Ingeniería de Alimentos de Unilasallista Corporación Universitaria.

2 Estudiante del programa Ingeniería de Alimentos de Unilasallista Corporación Universitaria.

3 Docente Tiempo completo Unilasallista Corporación Universitaria.

4 Docente Tiempo completo Unilasallista Corporación Universitaria.

Autor para correspondencia: vduque@unilasallista.edu.co.

creciente aumento debido a las preocupaciones actuales de los consumidores por el cuidado del medio ambiente –como las emisiones de gases de efecto invernadero y la huella de carbono de los productos que consumen– puesto que los recursos del suelo y agua necesarios para producir leche de vaca son mucho mayores que muchas de los productos *plant based* (Harper et al., 2022). Así también han crecido las cuestiones éticas hacia el cuidado de los animales y su trato en la industria, los problemas por el uso de antibióticos, las intolerancias y alergias hacia productos de origen animal. Todo esto ha generado una tendencia hacia los estilos de vida vegetarianos y veganos y por ende la preferencia de algunos consumidores por productos *plant based* (Tangyu et al., 2019). Para el año 2019, el mercado de sustitutos *plant based* para derivados lácteos representó USD 1,8 billones en USA, con una proyección de crecimiento anual del 10 % (Tangyu et al., 2019). Entre estos, el segundo producto más consumido de los derivados lácteos *plant based* es el helado (Harper et al., 2022). Sin embargo, dos de los principales problemas que tienen estas bebidas vegetales y sus derivados es la baja calidad nutricional, la consistencia y el sabor residual a “tierra”. Es por lo anterior que se hace necesario fortificar las bebidas vegetales, la adición de proteínas y procesos de tratamiento que mejoren sus características nutricionales y la fermentación.

La leche de vaca es una fuente rica en nutrientes, una porción diaria de aproximadamente 200 ml puede aportar el 10 % del valor diario recomendado de vitamina B2, yodo, fósforo y calcio, además, aporta un buen contenido de ácidos grasos, omega 6 y omega 3 (Montoya et al., 2023). Algunos estudios indican que la lactosa presente en la leche animal mejora la absorción y biodisponibilidad de los nutrientes y la caseína como proteína principal permite una mayor absorción intestinal de estos. (Moreno-Aznar et al. 2013).

Por el contrario, las leches vegetales tienen grasas insaturadas asociadas a la salud y bajo contenido de grasas saturadas que le dan una ventaja sobre la leche de vaca. Su desventaja es que tienen un

bajo contenido de proteínas, vitamina B12 y calcio, característicos de la leche. Estos se convierten entonces en los principales aspectos a mejorar en el aspecto nutricional de las bebidas vegetales (Harper et al., 2022). Una de las formas más empleadas para mejorar estos aspectos en la industria es el uso de aditivos y la fortificación de las bebidas, que resulta en el uso de sustancias artificiales que le confieren un sabor poco natural. La literatura científica ofrece en cambio, otras alternativas para mejorar estos aspectos como la combinación de fuentes vegetales con alto valor proteico, el uso de fibras dietarias e implementar el proceso de fermentación que permite que las proteínas de fuente vegetal sean más digeribles y que en su proceso también mejoren la textura, viscosidad, olor y sabor residual de las bebidas vegetales (Harper et al., 2022; Tusa, 2023). Este proceso además confiere al producto contenido de probióticos, presentes generalmente en el yogurt y que son beneficiosos para la salud. También se presentan algunas investigaciones frente a la supervivencia de las bacterias ácido-lácticas en bajas temperaturas durante el almacenamiento del helado, asociado a su viabilidad, dado que los probióticos son microorganismos sensibles a las condiciones de temperatura.

El objetivo de este trabajo fue identificar las principales diferencias nutricionales entre la leche de vaca y las bebidas obtenidas de diferentes matrices vegetales y cómo mejorar el contenido nutricional de las mismas. Además, en aras de poder desarrollar un alimento con probióticos, se presentan algunos de los métodos disponibles para la incorporación de bacterias ácido-lácticas en productos a base de bebidas vegetales, y algunos de los reportes publicados sobre la viabilidad del uso de probióticos en alimentos congelados de este tipo.

4.2 Características y componentes nutricionales de la leche y las bebidas vegetales

El aumento de las alternativas lácteas de origen vegetal y la disminución en el consumo de la leche bovina, desde una perspectiva de salud pública, requiere del diseño de alimentos con un adecuado balance nutricional dado que cada vez más personas podrían estar utilizando alternativas lácteas de origen vegetal como sustitutos nutricionales totales y completos de la leche bovina sin ninguna otra modificación en la dieta, dado que desde el punto de vista nutricional no deberían considerarse sustitutos nutricionales adecuados de la leche de vaca (Chalupa-Krebzdak et al., 2018). Por otro lado, las bebidas vegetales son ricas en aminoácidos, ácidos grasos esenciales y fitoquímicos como los fitoesteroles y las isoflavonas, que contribuyen a promover la salud y el bienestar. Sin embargo, los sustitutos o alternativas de leche vegetal pueden presentar desventajas en la biodisponibilidad de algunas vitaminas y minerales lo que puede no beneficiarles a estos productos para el mercado. Se ha demostrado que la lactosa mejora la biodisponibilidad del calcio y otros minerales, mientras que otros azúcares como la glucosa, la sacarosa, la maltosa y el almidón no lo hacen (Chalupa-Krebzdak et al., 2018).

Una de las mayores ventajas de las bebidas vegetales sobre la leche de vaca es su contenido de grasas insaturadas que se han relacionado con beneficios para la salud y bajo contenido de grasas saturadas, que por el contrario sí son características de la leche. Sin embargo, el bajo contenido de proteínas en las bebidas vegetales y la presencia de antinutrientes que inhiben enzimas como la proteasa para la descomposición de la proteína en aminoácidos digeribles, el bajo contenido de calcio y vitamina B12 representa una de las más grandes desventajas en el contenido nutricional de estas bebidas (Shori y Zahrani, 2021). Si se realiza un balance, se podría decir que la leche de vaca es una fuente dietética significativamente más rica en micronutrientes

como calcio, yodo y vitamina B2, ácido pantoténico y biotina que las bebidas de origen vegetal, las cuales, a su vez, aportan mayores cantidades de vitamina E y manganeso y se ven claramente favorecidas por sus mayores proporciones de ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados (Walther et al., 2022).

Mientras que algunas personas optan por las bebidas vegetales por ser más amigables con el medio ambiente, al necesitar menos recursos de suelo y agua, así como por generar menores emisiones, comparadas con la producción lechera; dejan de lado los aspectos nutricionales importantes de la leche de origen animal necesarios para el buen desarrollo de huesos y dientes, el aporte de proteínas biodisponibles para el funcionamiento del cuerpo y el desarrollo muscular (Shori y Zahrani, 2021).

Se sugiere que las bebidas *plant based* tengan un contenido de nutrientes para cada 100 g distribuido entre un contenido máximo de energía de 85-100 kcal/100 g, un contenido mínimo de proteínas de 2,2 g / 100 g y azúcares añadidos entre 5,3-6,25 g / 100 g, adicionalmente se recomienda enriquecer las alternativas a la leche de origen vegetal con calcio, potasio, vitamina D, proteínas, riboflavina, vitamina B-12, vitamina K y vitamina A. Todo esto, ya que estos nutrientes son importantes para garantizar que las alternativas de la leche de origen vegetal sean nutricionalmente equivalentes a la leche de vaca (Drewnowski et al., 2021).

Como una alternativa para aumentar el contenido de nutrientes en las diferentes alternativas de la leche de origen vegetal se pueden agregar diversas materias primas como cereales, destacando algunos como quinoa, avena y arroz integral; legumbres como lentejas, garbanzos y frijoles; frutos secos como almendras, nueces, anacardo y avellanas; semillas como chía, calabaza, girasol, sésamo y algún vegetal verde; todos estos alimentos son ricos en proteínas, vitaminas, minerales y fibra lo que puede mejorar la calidad nutricional del producto alternativo de la leche de origen vegetal. Es importante destacar que según el

estudio de Drewnowski *et al.* (2021), se recomienda limitar el contenido de azúcares añadidos en este tipo de bebidas para mantener un perfil nutricional equilibrado.

Es importante resaltar que los consumidores buscan un producto para ser utilizado como sustituto de la leche de vaca con aspectos sensoriales similares en cuanto a color, textura y, cuando sea posible, sabor (Fructuoso *et al.*, 2021).

Los compuestos bioactivos de los sucedáneos de la leche de origen vegetal incluyen compuestos fenólicos, ácidos grasos insaturados, actividad antioxidante, fitoesteroles e isoflavonas. Estos compuestos contribuyen a los beneficios para la salud de los sustitutos lácteos de origen vegetal, como la reducción del riesgo de enfermedades cardiovasculares, cáncer, aterosclerosis y diabetes (Aydar *et al.*, 2020) Se ha demostrado que la lactosa mejora la biodisponibilidad del calcio y otros minerales, mientras que otros azúcares como la glucosa, la sacarosa, la maltosa y el almidón no lo hacen (Chalupa-Krebzdak *et al.*, 2018)

4.3 Principales diferencias en el proceso de fermentación en bebidas vegetales

Para realizar un proceso de fermentación correcto, se deben garantizar las condiciones óptimas necesarias para que las bacterias ácido-lácticas puedan desarrollarse. Entre los procesos más importantes que deben tenerse en cuenta están:

- **Proteólisis**

Para el crecimiento de los microorganismos y el desarrollo de sabores, es necesario que se dé el proceso de descomposición de las proteínas en péptidos y aminoácidos. Dado que las proteínas en las bebidas vegetales están compuestas por cadenas más largas de aminoácidos y en una

forma mejor empaquetada que dificulta el proceso de proteólisis en bebidas vegetales. Sin embargo, se considera que la soya es un buen sustrato, dándose bien el proceso de proteólisis y liberación de péptidos y aminoácidos (Harper et al., 2022). Por ejemplo, en un estudio que se realizó para la formulación de un yogurt a base de banano a diferentes concentraciones de proteína de soya, se encontró que hubo un mayor conteo de unidades formadoras de colonia de *Lactobacillus spp* al agregar 3 % de proteína (Ruiz Rivera y Ramírez, 2009).

- **Metabolismo de carbohidratos**

Es fundamental para los procesos de metabolismo de las bacterias fermentativas y la producción de ácido láctico, a pesar de que la producción de este es mucho menor en las bebidas vegetales, indicando menor actividad fermentativa que en las bebidas lácteas. Se considera que la adición de azúcares para la especie *Lactobacillus acidophilus* presenta una notable mejora en la producción de dicho ácido. Por otro lado, se recomienda el uso de bacterias con la enzima alfa-galactosidasa, ya que la galactosa es también una forma muy común de sacárido en las bebidas vegetales (como rafinosa y estaquiosa), lo que le daría una ventaja para desarrollarse en el medio y mejorar problemas de digestión de este carbohidrato (Harper et al., 2022).

4.4 Beneficios de la fermentación en bebidas vegetales

Uno de los principales problemas de las bebidas vegetales son los aromas y sabores terrosos, el bajo contenido de proteínas y la baja digestibilidad de proteínas dado la presencia de antinutrientes y su composición limitada de aminoácidos (Tangyu et al., 2019). Durante los procesos de fermentación muchos de los compuestos presentes en las bebidas vegetales que crean dichos problemas son transformados y descompuestos, lo que mejora sus características nutricionales y sensoriales. Para el caso de los sabores y olores indeseados se da la reducción de n-hexanol y n-hexanal, responsables de los sabores

residuales a tierra (Tangyu et al., 2019), así como la formación de acetaldehído que genera los sabores deseados y característicos del yogurt. También se da la descomposición de proteínas en aminoácidos y compuestos volátiles orgánicos que producen sabor (Harper et al., 2022). La fermentación permite, además, que las proteínas presentes en la bebida vegetal sean mucho más digeribles, sumado a la reducción de sustancias antinutricionales, mejorando el contenido nutricional.

Por último, en cuanto al mejoramiento de la textura, la adición de bacterias ácido-lácticas (BAL) a la fermentación, producen exopolisacáridos. Estos son polímeros, al interactuar con las proteínas y grasas de la bebida vegetal forman redes que proporcionan una textura viscosa, estabilidad y cremosidad en la boca (Harper et al., 2022).

4.5 Aspectos importantes en la formulación de helado a partir de bebidas vegetales

El helado es el segundo producto análogo a base de plantas, de los derivados lácteos, mayormente consumidos de los producidos en Estados Unidos, el primero son las bebidas o leches vegetales (Harper et al., 2022). Para lograr una mayor aceptación del helado a base de leche vegetal deben mejorarse aspectos como el sabor residual de los productos vegetales y se debe tener en cuenta la textura de cremosidad y viscosidad (Pontonio et al., 2022).

Para ello, se recomienda en el proceso de producción de helado, incluir el proceso de fermentación, como un aliado para reducir los sabores indeseados y crear otros aromas y sabores antecedentes con la palatabilidad del consumidor, como lo es el ácido láctico y acético en el yogurt. Para lograr dicho objetivo, se tiene en cuenta la adición de proteína y azúcares que permiten los procesos de proteólisis y metabolismo de carbohidratos para el crecimiento y desarrollo de las BAL (Harper et al., 2022). La temperatura recomendada de

fermentación se encuentra alrededor de los 30 °C, pero esta varía entre las diferentes especies de BAL.

En cuanto a la textura y viscosidad del producto, pueden emplearse gomas y emulsificantes entre el 0,2 y 0,3 % (Pontonio et al., 2022). Leahu y Ropciuc, (2022) recomiendan el uso de un 6 % de fibras dietarias en la formulación (psyllium y pectina), contribuyendo a un efecto probiótico y reemplazando el uso de estos aditivos.

4.6 Conservación de los probióticos en frío

Los probióticos tienen propiedades beneficiosas, incluyendo resistencia a afecciones gástricas y biliares, efectos antiinflamatorios y antialérgicos. Se considera que aumentan la absorción de minerales en los intestinos y estimulan el crecimiento de otros microorganismos probióticos, lo que contribuye a una mayor salud del consumidor. Los *Lactobacillus* y *Bifidobacterium* son conocidos por sus propiedades beneficiosas, como la prevención de infecciones intestinales, el aumento del metabolismo de la lactosa, la reducción del colesterol, el fortalecimiento del sistema inmunológico, la absorción de calcio, el aumento de la digestión de proteínas, la síntesis de vitaminas y la neutralización de patógenos transmitidos por los nutrientes (Rasika et al., 2021)

La viabilidad de los probióticos en alimentos congelados, como el helado, es crucial para garantizar los beneficios de salud. La actividad de los probióticos a bajas temperaturas es un aspecto importante por considerar ya que esto también afecta su eficacia. En este sentido se deben tener en cuenta: a) la viabilidad durante el almacenamiento congelado, ya que puede disminuir debido a factores como la formación de cristales de hielo, el estrés osmótico y la exposición al oxígeno. Es fundamental seleccionar cepas probióticas resistentes al frío y utilizar tecnologías de encapsulación para proteger los microorganismos durante el almacenamiento congelado; b) la influencia sobre la actividad metabólica, dado que las bajas temperaturas pueden afectarla,

influyendo en su capacidad para ejercer sus efectos beneficiosos en el organismo; c) la supervivencia durante el tránsito gastrointestinal y la interacción con otros ingredientes, puede ser afectada por las bajas temperaturas. En la formulación del producto congelado, la presencia de prebióticos como fibra o azúcares puede mejorar la actividad de los probióticos a bajas temperaturas (Rasika et al., 2021)

La selección de cepas probióticas resistentes al frío y las estrategias de formulación adecuadas para mantener su viabilidad y actividad en condiciones de congelación, serán fundamentales para asegurar su funcionalidad.

Se han realizado diversos estudios con los probióticos para medir la capacidad que tienen para sobrevivir o adaptarse a diversas condiciones. Kemsawasd y Chaikham (2020) reportaron que las bacterias probióticas, como *L. casei* y *L. acidophilus*, pueden sobrevivir y adaptarse a condiciones de baja temperatura, manteniendo números de células viables cercanos a 7 log CFU/g después de 60 días de almacenamiento congelado en helados de arroz berry y sésamo-arroz berry. Los resultados obtenidos indican que las bacterias del género *Lactobacillus* son capaces de sobrevivir y adaptarse a condiciones de baja temperatura y choque frío. (Kemsawasd & Chaikham, 2020)

Adicionalmente, se encontró que la adición de inulina a los helados ayudó a evitar la reducción en la población de células viables de los probióticos, lo que sugiere que los prebióticos pueden mejorar la supervivencia de los probióticos cuando se están en condiciones desfavorables, al observarse un efecto sinérgico en la mejora de la actividad y el metabolismo de los probióticos. La disminución en el pH y el aumento en la acidez total indicaron un crecimiento extensivo de las células probióticas en los helados, lo que sugiere que las poblaciones más altas de probióticos pueden promover la producción de ácidos orgánicos como el ácido láctico, acético y propiónico.

Otro estudio, realizado por Norouzi et al. (2019) evaluó la supervivencia de *Lactobacillus paracasei* en postres de soja congelados fermentados y no fermentados durante un período de almacenamiento de 180 días a -24 °C. Los resultados mostraron que tanto los productos probióticos fermentados como no fermentados mantuvieron recuentos viables de *L. paracasei* por encima de 10^6 UFC/mL, y una mejora significativa en las propiedades sensoriales de los productos probióticos en comparación con el postre congelado sin probióticos. Estos hallazgos sugieren que los alimentos congelados, como el helado, pueden ser vehículos efectivos para la entrega de probióticos, siempre y cuando se tomen en cuenta las condiciones de procesamiento y almacenamiento para garantizar su viabilidad (Rasika et al., 2021)

Akca y Akpinar (2021) investigaron los efectos de las semillas de uva, granada y sésamo en un helado probiótico. Se añadieron polvo de pulpa de semillas vegetales y aceites de estas semillas a las mezclas de helado y se examinaron los efectos de estas adiciones en el pH, acidez, contenido fenólico total, contenido de flavonoides, capacidad antioxidante y viabilidad probiótica de *Lactobacillus rhamnosus* y *Bifidobacterium animalis subps. lactis* BB12 en muestras de helado almacenadas a -20 °C durante 90 días. Se encontró que las semillas de uva, granada y sésamo no afectaron los valores de pH y acidez de las muestras de helado. Además, estas adiciones contribuyeron a preservar la viabilidad de las bacterias probióticas durante el almacenamiento. El polvo de semilla de uva presentó el contenido fenólico y la actividad antioxidante más altos.

4.7 Probióticos en productos *plant based*

Los alimentos a base de plantas, como frutas, verduras, cereales y legumbres, han sido utilizados con éxito como portadores de probióticos, mantienen recuentos viables adecuados de probióticos durante la vida útil del producto. Estos alimentos también pueden

mejorar la supervivencia gastrointestinal de los probióticos, lo que es crucial para proporcionar beneficios para la salud a los consumidores (Rasika et al., 2021)

Como se ha mencionado, las propiedades de los probióticos en un producto *plant based* pueden variar dependiendo de la formulación específica del producto y las cepas de probióticos utilizadas. En el contexto de un producto *plant based*, como un helado a base de plantas, los probióticos pueden ofrecer beneficios para la salud digestiva y el equilibrio del microbiota intestinal. Algunas de las propiedades de los probióticos en un producto *plant based* son:

- Mejora de la salud digestiva, ya que los probióticos pueden ayudar a mantener un equilibrio saludable de bacterias en el intestino, lo que promueve una digestión adecuada y una mejor absorción de nutrientes, además de ayudar a reducir la inflamación en el tracto gastrointestinal.
- Refuerzo del sistema inmunológico, asociado a ciertas cepas de probióticos, lo que puede ayudar a fortalecer las defensas del cuerpo contra enfermedades.
- Posibles efectos antioxidantes, lo que podría ayudar a combatir el estrés oxidativo en el cuerpo (Kemsawasd y Chaikham, 2020).

Al incorporar probióticos en productos *plant based*, se puede ofrecer a los consumidores una opción saludable y beneficiosa para la salud digestiva y general. Es importante tener en cuenta para su incorporación, que la viabilidad y eficacia de los probióticos en un producto *plant based* dependerá de factores como la estabilidad de las cepas probióticas durante la producción y almacenamiento, así como la interacción con otros ingredientes presentes en el producto (Kemsawasd y Chaikham, 2020).

4.8 Conclusiones

El desarrollo de alimentos *plant based* o análogos vegetales, se presenta como una alternativa a las nuevas tendencias del consumidor. Su diseño requiere de la previsión nutricional en aras de fortalecer su valor nutricional. El uso de aditivos y procesos de fermentación pueden ser una estrategia de la industria para mejorar la respuesta sensorial. Así, será posible la innovación y el desarrollo de una oferta alimentaria ampliada bajo las necesidades del consumidor actual.

Referencias

- Akca, S. and Akpinar, A. (2021). The Effects of Grape, pomegranate, Sesame Seed Powder and Their Oils on Probiotic Ice Cream: Total phenolic contents, antioxidant activity and probiotic viability. *Food Bioscience*, 42. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101203>.
- Aydar, E. F., Tutuncu, S. and Ozcelik, B. (2020). Plant-based milk substitutes: Bioactive compounds, conventional and novel processes, bioavailability studies, and health effects. *Journal of Functional Foods*, (70), 103975. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2020.103975>.
- Chalupa-Krebzdak, S., Long, C. J. and Bohrer, B. M. (2018). Nutrient density and nutritional value of milk and plant-based milk alternatives. *International Dairy Journal*, (87), 84- 92. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2018.07.018>.
- Drewnowski, A., Henry, C. J. and Dwyer, J. T. (2021). Proposed Nutrient Standards for Plant-Based Beverages Intended as Milk Alternatives. *Frontiers in Nutrition*, 8. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.761442>.
- Fructuoso, I., Romão, B., Han, H., Raposo, A., Ariza-Montes, A., Araya-Castillo, L. Z. and Donadi, R. P. (2021). An overview on nutritional

- aspects of plant-based beverages used as substitutes for cow's milk. *Nutrients*, 13(8). <https://doi.org/10.3390/nu13082650>.
- Harper, A. R., Dobson, R. C., Morris, V. K. and Moggré, G. J. (2022). Fermentation of plant-based dairy alternatives by lactic acid bacteria. *Microbial Biotechnology*, 15(5), 1404-1421. <https://doi.org/10.1111/1751-7915.14008>.
- Montoya, M., Imbett, P., Duque, S., y Araque, M. (2023). Implicaciones sobre la salud humana del consumo de leche de vaca. *Revista Facultad Ciencias de la Salud*, 25(2), 27-38. <https://doi.org/10.47373/rfcs.2023.v25.2225>.
- Kemsawasd, V. and Chaikham, P. (2020). Effects of frozen storage on viability of probiotics and antioxidant capacities of synbiotic riceberry and sesame-riceberry milk ice creams. *Current Research in Nutrition and Food Science*, 8(1), 107-121. <https://doi.org/10.12944/CRNFSJ.8.1.10>
- Leahu, A., Ropciuc, S. and Ghinea, C. (2022). Plant-based milks: Alternatives to the manufacture and characterization of ice cream. *Applied Sciences*, 12(3), 1754. <https://doi.org/10.3390/app12031754>.
- Moreno Aznar, L. A., Cervera Ral, P., Ortega Anta, R. M., Díaz Martín, J. J., Baladia, E., Basulto, J., ... y Salas-Salvadó, J. (2013). Evidencia científica sobre el papel del yogur y otras leches fermentadas en la alimentación saludable de la población española. *Nutrición Hospitalaria*, 28(6), 2039-2089. <https://dx.doi.org/10.3305/nh.2013.28.6.6856>.
- Norouzi, S., Pourjafar, H., Ansari, F., & Homayouni, A. (2019). A Survey on the survival of *Lactobacillus paracasei* in fermented and non-fermented frozen soy dessert. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 21, 101297. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101297>

- Rasika, D. M. D., Vidanarachchi, J. K., Luiz, S. F., Azeredo, D. R. P., Cruz, A. G. and Ranadheera, C. S. (2021). Probiotic delivery through non-dairy plant-based food matrices. *Agriculture Switzerland*, 11(7). <https://doi.org/10.3390/agriculture11070599>.
- Pontonio, E., Montemurro, M., Dingeo, C., Rotolo, M., Centrone, D., Carofiglio, V. E. and Rizzello, C. G. (2022). Design and characterization of a plant-based ice cream obtained from a cereal/legume yogurt-like. *LWT*, 161, 113327.
- Ruiz Rivera, J. A. y Ramírez Matheus, A.O. (2009). Elaboración de yogurt con probióticos (*Bifidobacterium spp* y *Lactobacillus acidophilus*) e inulina. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 26(2), 223-242. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-78182009000200006&lng=es&tlng=es.
- Shori, A. B. and Al Zahrani, A. J. (2021). Non-dairy plant-based milk products as alternatives to conventional dairy products for delivering probiotics. *Food Science and Technology*, 42, 101321. <https://doi.org/10.1590/fst.101321>.
- Tangyu, M., Muller, J., Bolten, C.J. and Wittmann, C. (2019). Fermentation of plant-based milk alternatives for improved flavour and nutritional value. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 103, 9263-9275. <https://doi.org/10.1007/s00253-019-10175-9>.
- Tusa Guzmán, K. S. (2023). *Elaboración de yogurt probiótico de banano, bajo en calorías y enriquecido con proteína vegetal*. <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/6325437>
- Walther, B., Guggisberg, D., Badertscher, R., Egger, L., Portmann, R., Dubois, S., Haldimann, M., Kopf-Bolan, K., Rhyn, P., Zoller, O., Veraguth, R. and Rezzi, S. (2022). Comparison of nutritional composition between plant-based drinks and cow's milk. *Frontiers in Nutrition*, 9. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.988707>.

5. Tauromaquia: tradición, arte y controversia

Mariana Granada Muñoz¹, Lina Marcela Moreno Sánchez²,
 Fredy Alexander Muriel³, María Paula Ortiz⁴, PhD Marilza Piedad Ruiz Ruiz⁵,
 PhD Rubén Darío Hernández Escorcía⁶

Resumen

La tauromaquia, arraigada en diversas culturas, ha sido objeto de intensos debates debido a sus implicaciones éticas y de bienestar animal. Este artículo presenta un estudio exhaustivo sobre la tauromaquia desde una perspectiva bioética y de bienestar animal, utilizando un enfoque basado en análisis documental. El objetivo principal es analizar los conflictos entre la tradición cultural y los principios éticos contemporáneos evaluando tanto las implicaciones culturales como el impacto en el bienestar de los animales. Se fundamenta en una revisión bibliográfica que incluye libros, artículos científicos, informes gubernamentales y documentos de organizaciones de bienestar animal, utilizando bases de datos académicas como PubMed, Scopus y Google Scholar. Para la búsqueda, se emplearon palabras clave como “tauromaquia”, “bienestar animal”, “bioética” y “tradiciones culturales”. Además, se realizó un análisis de normativas legales relacionadas con la tauromaquia en diferentes países, centrándose en las regulaciones que afectan al bienestar animal y las leyes de protección animal.

1 Estudiante del programa de Zootecnia de Unilasallista Corporación Universitaria.

2 Estudiante del programa de Zootecnia de Unilasallista Corporación Universitaria.

3 Estudiante del programa de Ingeniería de Alimentos de Unilasallista Corporación Universitaria.

4 Estudiante del programa de y programa de Zootecnia de Unilasallista Corporación Universitaria.

5 Docente Tiempo completo Unilasallista Corporación Universitaria.

6 Docente Tiempo completo Unilasallista Corporación Universitaria.

El análisis se estructuró en dos objetivos principales: primero, explorar la tauromaquia como expresión cultural y artística, investigando sus orígenes, evolución, tradiciones y manifestaciones en diferentes países; segundo, evaluar el impacto de la tauromaquia en el bienestar animal, analizando el sufrimiento físico y psicológico que se inflige a los toros durante las corridas. Se documentan las severas lesiones físicas y el estrés psicológico que sufren los toros, evidenciando un claro conflicto con los principios del bienestar animal. El análisis busca proporcionar una visión equilibrada y basada en evidencias, que permita comprender mejor las implicaciones éticas de la tauromaquia y explorar posibles alternativas que respeten tanto la tradición cultural como el bienestar de los animales involucrados. Al considerar la evolución de las normativas y la creciente sensibilidad hacia el sufrimiento animal, este estudio pretende contribuir al debate sobre la viabilidad y ética de la tauromaquia en el contexto contemporáneo.

Palabras clave: tauromaquia, tradición cultural, arte taurino, bienestar animal, sufrimiento animal.

5.1 Introducción

La tauromaquia, práctica profundamente arraigada en varias culturas, especialmente en España y México, ha sido objeto de intensos debates debido a sus implicaciones éticas y de bienestar animal. Este artículo tiene como propósito principal analizar la tauromaquia desde una perspectiva bioética y de bienestar animal, explorando los conflictos entre la tradición cultural y los principios éticos contemporáneos relacionados con el trato hacia los animales.

El fundamento lógico de este estudio radica en la necesidad de conciliar dos valores aparentemente opuestos: la preservación de las tradiciones culturales y el respeto por la vida y el bienestar de los animales. La tauromaquia, como una forma de arte y una tradición cultural, ha sido defendida por su valor histórico y su impacto en la

identidad cultural de las sociedades donde se practica (Carrasco, 2022). Sin embargo, los avances en el entendimiento del bienestar animal y el creciente reconocimiento de los derechos de los animales han llevado a cuestionar la ética de las corridas de toros (Nogués, 2024).

Diversos estudios han documentado las severas lesiones físicas y el estrés psicológico que sufren los toros durante las corridas, evidenciando un claro conflicto con los principios del bienestar animal (Querol Pallarés, 2019). Estas prácticas no solo resultan en un dolor significativo y prolongado para los toros, sino que también generan un ambiente de estrés y miedo que contradice los estándares modernos de trato ético hacia los animales (Lasso y Vidales, 2016). Este análisis busca proporcionar una visión equilibrada y basada en evidencias, que permita comprender mejor las implicaciones éticas de la tauromaquia y explorar posibles alternativas que respeten tanto la tradición cultural como el bienestar de los animales involucrados. Al considerar la evolución de las normativas y la creciente sensibilidad hacia el sufrimiento animal, este estudio pretende contribuir al debate sobre la viabilidad y ética de la tauromaquia en el contexto contemporáneo.

El contenido del estudio trata de abordar la tauromaquia desde tres perspectivas clave: su tradición cultural, su consideración como arte, y la controversia que genera respecto al trato digno de los animales, busca concientizar y generar alternativas de entretenimiento sin vulnerar los derechos de los animales.

5.2 Metodología

Para llevar a cabo este estudio sobre la tauromaquia desde una perspectiva bioética y de bienestar animal, se realizó una revisión de la literatura existente sobre la tauromaquia, incluyendo libros, artículos científicos, informes gubernamentales y documentos de organizaciones de bienestar animal. Se utilizaron bases de datos académicas como

PubMed, Scopus y Google Scholar, empleando palabras clave como “tauromaquia”, “bienestar animal”, “bioética”, y “tradiciones culturales”.

Se tuvieron en cuenta las publicaciones entre 2015 y 2024, dicha búsqueda se realizó durante el primer semestre del 2024. Este estudio se fundamenta de un análisis documental, según la estructura que ofrece el método prisma para la revisión de la bibliografía (Sánchez-Serrano et al., 2022). Se analizaron las normativas legales relacionadas con la tauromaquia en diferentes países, enfocándonos en las regulaciones que afectan al bienestar animal y las leyes de protección animal.

5.3 Resultados

Teniendo en cuenta los objetivos planteados en esta investigación se dan a conocer los resultados, producto de la revisión bibliográfica realizada (**tabla 1**).

Tabla 1.
Aportes encontrados en la literatura en relación a la tauromaquia

Perspectiva de la tauromaquia	Aportes y consecuencias
<i>Tauromaquia como expresión cultural y artística</i>	La tauromaquia tiene raíces históricas profundas, se remonta a rituales de sacrificio animal en la antigua Roma y evolucionó a un espectáculo cultural prominente en España y América Latina (Carrasco, 2022). La influencia de la tauromaquia en diversas formas de arte incluye: literatura, pintura y escultura. Artistas como Francisco de Goya y escritores como Federico García Lorca han retratado la tauromaquia en sus obras, resaltando su valor cultural y simbólico (Querol Pallarés, 2019).

Perspectiva de la tauromaquia	Aportes y consecuencias
<i>Impacto de la tauromaquia en el bienestar animal y el aporte de las legislaciones ante esta práctica</i>	Los toros sufren severas lesiones físicas durante las corridas. Estas incluyen heridas por banderillas y estocadas que resultan en un dolor significativo y prolongado (Lasso y Vidales, 2016).
	El estrés psicológico infligido a los toros es considerable, evidenciado en comportamientos indicativos de miedo y ansiedad. Este estrés contraviene los principios modernos de bienestar animal (Querol Pallarés, 2019).
	Las regulaciones sobre la tauromaquia varían significativamente entre países. En España y México, las leyes permiten y regulan la práctica, mientras que en Colombia y Venezuela, las legislaciones son más restrictivas o están en proceso de prohibición (Nogués, 2024).
	Algunas leyes en España y México incluyen medidas para minimizar el sufrimiento animal, como la prohibición de ciertos instrumentos crueles. Sin embargo, la efectividad de estas medidas es cuestionada debido a la persistencia de prácticas que causan dolor significativo (Querol Pallarés, 2019).
	La percepción pública hacia la tauromaquia ha evolucionado dada la creciente conciencia sobre el bienestar animal y los derechos de los animales. Esto ha llevado a un aumento en la presión para prohibir o reformar esta práctica, reflejando un cambio en los valores sociales (Nogués, 2024). La tauromaquia enfrenta una disminución en popularidad y asistencia, especialmente entre las generaciones más jóvenes, lo que cuestiona su viabilidad económica a largo plazo (Lasso y Vidales, 2016).

Nota. Elaboración propia

La revisión bibliográfica indicó que la tauromaquia tiene raíces históricas profundas, se remonta a rituales de sacrificio animal en la antigua Roma y evoluciona hasta convertirse en un espectáculo

cultural en España y América Latina (Carrasco, 2022). Además, se encontró que esta práctica tiene un gran valor cultural pues de ella se han ocupado otras artes (pintura, escultura, literatura, cine) lo que evidencia su alto valor simbólico (Duarte Molina y Parra Bahamón, 2019). Los análisis mostraron que las regulaciones sobre la tauromaquia varían significativamente entre países. Mientras que España y México tienen leyes que permiten y regulan la práctica (Guillaume-Alonso, 2016), otros países como Colombia y Venezuela tienen legislaciones más restrictivas o en proceso de prohibición (Nogués, 2024). Las leyes en España y México incluyen medidas para minimizar el sufrimiento, como la prohibición de ciertos instrumentos crueles. Sin embargo, la efectividad de estas medidas es cuestionada debido a la persistencia de prácticas que causan dolor significativo (Querol Pallarés, 2019).

5.4 Discusión

La sensibilidad social hacia el trato de los animales ha evolucionado, y muchos creen que las tradiciones deben adaptarse a los valores contemporáneos de compasión y respeto por los seres vivos (Bernuz Beneitez, 2022). Hay quienes argumentan que la tauromaquia implica un sufrimiento innecesario y cruel para los toros, que son sometidos a un proceso doloroso antes y durante la corrida. Esta perspectiva se basa en principios de bienestar animal y principios éticos (Querol Pallarés, 2019). Varias regiones han prohibido las corridas de toros, reflejando un cambio en la opinión pública. La disminución de la popularidad de la tauromaquia entre las generaciones más jóvenes indica un cambio cultural significativo en diferentes partes del mundo, lo que demuestra un cambio de paradigma en relación con esta práctica (Juache Hernández, 2015), a pesar de que la tauromaquia es una tradición ancestral con profundas raíces históricas y culturales en países como España, México, Francia, Portugal y algunos países de América Latina. Para muchos, las corridas de toros son una forma de arte y un elemento esencial de su identidad cultural y patrimonio inmaterial,

por ello la reflexión ética sobre esta práctica cada vez debe ser más profunda y actual (Nogués, 2024).

5.5 Conclusiones

La tauromaquia, con su rica historia y profunda conexión cultural en países como España, México y varios otros, representa una tradición arraigada que ha formado parte del tejido social durante siglos. Si bien ha sido celebrada como una expresión artística y cultural, es evidente que la percepción pública ha evolucionado significativamente. Las corridas de toros son vistas por muchos como un símbolo de identidad cultural y un legado que merece ser preservado, mientras que otros lo ven como una práctica que debe modernizarse para alinearse con los valores contemporáneos de bienestar animal y ética. Desde una perspectiva ética, la tauromaquia ha sido objeto de un intenso escrutinio y debate.

La creciente conciencia sobre el bienestar animal y los derechos de los animales ha llevado a una reevaluación de esta práctica. Muchos defensores de los animales argumentan que las corridas de toros implican un sufrimiento innecesario para los toros y los caballos involucrados, y que la tradición no justifica el maltrato. En consecuencia, ha habido un aumento en la presión para prohibir o reformar la tauromaquia, reflejando un cambio en los valores sociales y una mayor preocupación por el trato humanitario de los animales.

La tauromaquia enfrenta un futuro incierto, con varios países y regiones imponiendo restricciones o prohibiciones totales. La legislación en torno a la tauromaquia varía ampliamente, desde la protección de la práctica como parte del patrimonio cultural hasta su prohibición completa. Este mosaico de regulaciones refleja las divisiones en la opinión pública y el desafío de equilibrar la preservación de tradiciones culturales con la adaptación a las normas éticas modernas. El debate continúa siendo un reflejo de la evolución de la sociedad y de cómo las prácticas culturales deben adaptarse a los tiempos cambiantes.

Referencias

- Alonso, A. G. (2016). El caballero, el toro y el príncipe. En F. Halcón y P. Romero (eds.), *Tauromaquia: historia, arte, literatura y medios de comunicación en Europa y América* (pp. 21-33). Universidad de Sevilla.
- Bernuz Beneitez, M. J. (2022). Los debates parlamentarios sobre tauromaquia en España: debates sin (valores) animales. En Á. Oliver (coord.), *Debatendo leyes: estudios sobre justificación parlamentaria de la legislación* (pp. 309-336). Dykinson.
- Carrasco, J. (2022). *La tauromaquia en la cultura española*. Taurus.
- Duarte Molina, T. M. y Parra Bahamón, M. C. (2019). Introito al derecho cultural: consideraciones a partir de la tauromaquia. *Criterios*, 12(2), 191-221. <https://doi.org/10.21500/20115733.5019>.
- Juache Hernández, B. (2015). *Ética y tauromaquia: perspectiva de los asistentes locales a la fiesta patronal Asunción de la Virgen María, Veracruz, México* [Tesis de pregrado]. Universidad Autónoma del estado de México, centro universitario UAEM Texcoco.
- Lasso, G. M. y Vidales, D. R. (2016). El toro como recurso estético: apuntes teóricos para una historia ambiental animal. *Abordajes. Revista de Ciencias Sociales y Humanas*, 4(7) 69-99.
- Nogués, J. (2024). *Bienestar animal y tradiciones: un conflicto de intereses*. Editorial Universidad Autónoma de Barcelona.
- Querol Pallarés, M. (2019). El sufrimiento animal en la tauromaquia. *Revista Española de Veterinaria*, 32(3), 245-260.
- Sánchez-Serrano, S., Pedraza-Navarro, I. y Donoso-González, M. (2022). ¿Cómo hacer una revisión sistemática siguiendo el protocolo PRISMA? Usos y estrategias fundamentales para su aplicación en el ámbito educativo a través de un caso práctico. *Bordón*,

Revista de Pedagogía, 74(3), 51-66. <https://doi.org/10.13042/Bordon.2022.95090>.

6. Inteligencia artificial, su uso en el desarrollo de fármacos y su aplicación en la medicina

Juan Sebastián Ramírez Candela¹, Miguel Llano Duque², Jacobo Mesa Sánchez³

PhD Marilza Piedad Ruiz Ruiz⁴, PhD Rubén Darío Hernández Escorcía⁵

Resumen

La inteligencia artificial es una herramienta muy utilizada en diversas áreas de estudio, por esa razón los médicos, científicos y expertos de la salud han comenzado a implementarla en áreas de investigación farmacéutica y química, destacando su impacto en el descubrimiento y desarrollo de fármacos, con el propósito de acelerar el proceso de diseño molecular y mejorar la eficacia de las terapias disponibles. La optimización del descubrimiento y la implementación de nuevos fármacos requerirá la aplicación de algoritmos de aprendizaje automático, maximizando el potencial de la inteligencia artificial en la industria farmacéutica. Se resalta la importancia de la colaboración interdisciplinaria entre científicos, investigadores farmacéuticos y expertos en inteligencia artificial para potenciar el impacto de esta tecnología, así como un entendimiento profundo de la teoría, los datos y la biología involucrada. Adicionalmente se hace hincapié en abordar cuestiones éticas, manteniendo un equilibrio entre la automatización

1 Estudiante del Programa de Ingeniería de Alimentos de Unilasallista Corporación Universitaria.

2 Estudiante del Programa de Zootecnia de Unilasallista Corporación Universitaria.

3 Estudiante del Programa de Ingeniería de Alimentos de Unilasallista Corporación Universitaria.

4 Docente Tiempo completo de Unilasallista Corporación Universitaria.

5 Docente Tiempo completo de Unilasallista Corporación Universitaria.

y la intervención humana promoviendo la transparencia en el uso de la inteligencia artificial en el descubrimiento de fármacos.

Palabras clave: inteligencia artificial, química computacional, investigación farmacéutica.

6.1 Introducción

La inteligencia artificial (IA) ha emergido como una herramienta poderosa en el campo de la química y el diseño de fármacos, transformando radicalmente la forma en que se abordan los desafíos en la búsqueda de tratamientos efectivos para enfermedades, más aún tras la pandemia del COVID-19. En el presente documento, se exploran doce artículos que abordan el impacto y las oportunidades que la IA ofrece en la química computacional, el diseño molecular y el descubrimiento de fármacos, entre otros.

Los artículos revisados destacan la evolución de las herramientas de aprendizaje automático, la colaboración interdisciplinaria entre diferentes sectores, la importancia de la ética y la transparencia en el uso de la IA, y los desafíos y oportunidades que surgen al integrar la IA en la industria farmacéutica, además, los autores plantean cómo la IA está revolucionando el proceso de descubrimiento de fármacos, desde la identificación de compuestos potenciales hasta la predicción de estructuras y el diseño de terapias innovadoras. Se discuten los avances tecnológicos que prometen acelerar la investigación en el campo de la medicina, mejorando la eficacia y precisión de las terapias disponibles para diversas enfermedades. Con este artículo de revisión intentamos proporcionar una visión integral de las posibilidades y desafíos que enfrenta la integración de la IA en la investigación farmacéutica, destacando la necesidad de evaluaciones cuidadosas y colaboraciones interdisciplinarias para maximizar el potencial de esta tecnología en la industria del diseño molecular y la salud pública.

6.2 La medicina y la industria farmacéutica

El papel de la inteligencia artificial (IA) en la medicina y en la industria farmacéutica ha sido profundamente transformador en los últimos años. Retrocediendo en el tiempo, es posible observar cómo la IA ha revolucionado diversos aspectos del desarrollo de fármacos y la práctica médica. En primer lugar, la identificación de nuevas dianas terapéuticas ha sido agilizada gracias a los avances en IA. Al analizar grandes bases de datos genómicos y proteómicos, los algoritmos de IA pueden identificar patrones y relaciones que pasaban desapercibidos para los métodos tradicionales. Esto ha permitido a los investigadores descubrir objetivos moleculares prometedores para el desarrollo de fármacos, acelerando así el proceso de investigación y desarrollo (Lv *et al.*, 2021; Bagabir *et al.*, 2022; Jiménez-Luna *et al.*, 2020; Selman-Álvarez *et al.*, 2023).

La IA en el descubrimiento de fármacos necesita variables cuantitativas y etiquetas que sean significativas, pero a menudo no somos lo suficientemente capaces de determinar qué variables importan, definir las experimentalmente en una escala lo suficientemente grande y etiquetar la biología para que la IA tenga éxito en un nivel que sea compatible con la inversión y las necesidades actuales. (Bender y Cortés-Ciriano, 2021a)

El enfoque principal de la IA en el descubrimiento de fármacos parece ser, en muchos casos, la velocidad y el costo, en lugar de la calidad de las decisiones. Esto es una consecuencia del hecho de que la IA y el aprendizaje profundo se aplican en general en el descubrimiento de fármacos en sus primeras etapas, cuando la calidad a menudo está codificada por métricas unidimensionales de actividad y propiedades (Bender y Cortés-Ciriano, 2021b).

La optimización de moléculas ha experimentado un cambio radical gracias a la IA. Los algoritmos de aprendizaje automático pueden analizar la estructura y las propiedades de millones de compuestos químicos en

cuestión de horas, identificando aquellos con mayor probabilidad de éxito como candidatos para nuevos fármacos (Lv et al., 2021; Bagabir et al., 2022; Jiménez-Luna et al., 2020; Selman-Álvarez et al., 2023).

Los algoritmos de aprendizaje automático han sido utilizados por químicos computacionales y medicinales durante décadas, el reciente aumento en su aplicación se atribuye a avances en la potencia computacional, la creciente cantidad de datos de investigación digitalizados y una comprensión teórica cada vez mayor de los algoritmos y sus limitaciones (Brown et al., 2020). Esta capacidad predictiva ha permitido a las empresas farmacéuticas reducir los costos y los tiempos de desarrollo, al tiempo que aumentan la eficacia y la seguridad de los nuevos medicamentos. Otro aspecto crucial es el diseño de ensayos clínicos más eficientes y personalizados. La IA puede analizar datos clínicos de pacientes, identificando subgrupos con características específicas que pueden beneficiarse de un determinado tratamiento. Esto no solo acelera el proceso de desarrollo de fármacos, sino que también maximiza las posibilidades de éxito al adaptar los ensayos a las necesidades individuales de los pacientes (Lv et al., 2021; Bagabir et al., 2022; Jiménez-Luna et al., 2020; Selman-Álvarez et al., 2023).

La IA está transformando la práctica clínica al ayudar a los médicos a tomar decisiones más informadas. Los sistemas de apoyo a la decisión clínica basados en IA pueden analizar grandes cantidades de datos médicos, como historias clínicas, resultados de pruebas y datos genéticos, proporcionando recomendaciones precisas sobre diagnósticos y tratamientos. Esto no solo mejora la precisión de los diagnósticos, sino que también optimiza la selección de tratamientos, reduciendo así los errores médicos y mejorando los resultados para los pacientes (Lv et al., 2021; Bagabir et al., 2022; Jiménez-Luna et al., 2020; Selman-Álvarez et al., 2023).

Se ha presentado un sin número de aplicaciones de las IA en el ámbito de la medicina, como la identificación del genoma humano, y ahora con esta información disponible la inteligencia artificial

interpretable (XAI) puede ayudar a predecir cómo y qué probabilidades tiene un fármaco o una enfermedad específica de actuar en el cuerpo, lo que permitirá revolucionar el proceso de descubrimiento de nuevos medicamentos. La XAI es una rama de la IA que se enfoca en hacer que los modelos de IA sean más transparentes y entendibles para los humanos. Esto es crucial en el descubrimiento de fármacos, ya que comprender el razonamiento detrás de las predicciones impulsadas por la IA es esencial para tomar decisiones informadas sobre el desarrollo de medicamentos (Lv et al., 2021; Bagabir et al., 2022; Jiménez-Luna et al., 2020; Selman-Álvarez et al., 2023).

Por lo general, los métodos para experimentar y conocer cómo va a actuar un medicamento o una enfermedad son complicados, pero hoy en día las IA ayudan en el proceso de la simulación médica, ofreciendo ventajas significativas sobre los métodos tradicionales, transformando la forma en que los profesionales de la salud se forman, practican e investigan. Estas herramientas impulsadas por IA proporcionan simulaciones más realistas y complejas, adaptadas a las necesidades individuales de los profesionales y con evaluaciones automatizadas de su desempeño (Lv et al., 2021; Bagabir et al., 2022; Jiménez-Luna et al., 2020; Selman-Álvarez et al., 2023).

En este sentido, la XAI presenta varias áreas clave donde puede ser aplicada para el descubrimiento de fármacos: a) identificación y validación de dianas, lo que permite identificar objetivos potenciales para los medicamentos analizando grandes conjuntos de datos biológicos y detectando patrones que sugieran moléculas o vías importantes involucradas en la enfermedad; b) optimización de candidatos a fármacos, al proporcionar información sobre las interacciones moleculares y las propiedades que contribuyen a su actividad y selectividad; c) toxicología predictiva pues permite predecir la toxicidad potencial al identificar y eliminar compuestos que puedan causar efectos adversos en los pacientes; d) descubrimiento de biomarcadores, asociados a la enfermedad o la respuesta al tratamiento, que se pueden utilizar para

guiar la selección de pacientes y monitorear la eficacia del tratamiento (Lv *et al.*, 2021; Bagabir *et al.*, 2022; Jiménez-Luna *et al.*, 2020; Selman-Álvarez *et al.*, 2023).

En el ámbito específico del desarrollo de fármacos, la IA en la simulación médica permite la modelización de procesos biológicos y la predicción de la eficacia y toxicidad de los compuestos. Por ejemplo, en la formación de investigadores farmacéuticos, la IA puede simular escenarios de investigación y desarrollo de medicamentos, brindando una experiencia práctica y realista. Además, en la evaluación de la eficacia y seguridad de los medicamentos, la IA puede proporcionar simulaciones de interacciones moleculares y predecir la respuesta de los pacientes a los tratamientos (Lv *et al.*, 2021; Bagabir *et al.*, 2022; Jiménez-Luna *et al.*, 2020; Selman-Álvarez *et al.*, 2023). La aplicación de la IA es particularmente crucial para abordar enfermedades prevalentes, proporciona un enfoque personalizado y eficiente para el desarrollo de fármacos empleando algoritmos de aprendizaje automático para analizar datos de pacientes, identificar participantes adecuados en ensayos clínicos y predecir posibles efectos adversos (Sampene *et al.*, 2024).

La importancia práctica de la investigación con IA es evidente en su potencial para informar a responsables políticos, profesionales de la industria e investigadores sobre el panorama actual en el descubrimiento de fármacos, direccionando el desarrollo de políticas y estrategias específicas para fomentar el uso responsable y eficaz de la IA en el sector farmacéutico.

6.3 COVID-19

La IA se implementa en el diseño de fármacos a través de la generación de modelos de aprendizaje y predicción, lo que permite realizar un cribado virtual rápido y preciso para identificar medicamentos potenciales. Con una estrategia de reposicionamiento de fármacos,

la IA puede detectar rápidamente medicamentos que pueden combatir enfermedades emergentes, como lo fue la pandemia del COVID-19, lo que tiene el potencial de mejorar el descubrimiento de medicamentos, la planificación del tratamiento y los resultados informados de los pacientes.

Frente al reposicionamiento de fármacos, se menciona que, con la experiencia previa en el uso de algunos medicamentos antiguos que mostraron actividad contra el SARS-CoV-2 también podían aplicarse para tratar a los pacientes con COVID-19.

La predicción de IA detectó las similitudes filogenéticas del virus SARS-CoV-2, perteneciente al grupo de los betacoronavirus, con los virus SARS-CoV y MERS-CoV. Además, permitió el registro epidemiológico de la propagación del COVID-19, demostrando que su propagación fue más severa que la de los brotes anteriores de SARS y MERS.

Es muy importante la colaboración entre grandes compañías farmacéuticas, laboratorios de investigación y organizaciones de salud para compartir datos y acelerar el proceso de descubrimiento de medicamentos. Se destaca que la IA, junto con la tecnología CRISPR, se está utilizando para acelerar el desarrollo de tratamientos para el coronavirus. Asimismo, existen iniciativas académicas que utilizan modelos de IA para acelerar la investigación de vacunas contra diversas enfermedades, incluido el COVID-19 (Mohanty et al., 2020).

6.4 Métodos y recursos

Desde la recopilación de datos químicos, de bioactividad y genómicos hasta la predicción de estructuras de proteínas y el diseño de fármacos de Novo, la IA ha revolucionado la forma en que se aborda la búsqueda y desarrollo de nuevos medicamentos.

En términos de recursos de datos, se destacan bases de datos como ChEMBL, DrugBank, PubChem y DGIdb, que contienen información

crucial sobre moléculas bioactivas, propiedades fisicoquímicas, interacciones fármaco-gen y estructuras tridimensionales. Estos recursos son fundamentales para la identificación de posibles objetivos terapéuticos, el diseño de fármacos y la optimización de terapias existentes. De igual forma, existen las aplicaciones de la IA en el diseño de nanomedicinas y oligonucleótidos terapéuticos, así como modelos de predicción de internalización celular de nanopartículas, herramientas de aprendizaje automático para identificar oligonucleótidos efectivos. Estos enfoques de IA permiten un diseño más preciso y eficiente de terapias basadas en oligonucleótidos, reduciendo la necesidad de costosos experimentos.

En cuanto a la predicción de estructuras de proteínas, se destaca el método AlphaFold desarrollado por DeepMind, que utiliza redes neuronales para predecir estructuras tridimensionales de proteínas a partir de secuencias de aminoácidos con una precisión comparable a las técnicas experimentales tradicionales. Esta capacidad de predecir la estructura de proteínas es crucial para comprender la función de los objetivos terapéuticos y diseñar fármacos específicos (Chen et al., 2023).

6.5 Desafíos por superar

La IA tiene el potencial de revolucionar el campo médico al ofrecer mejoras significativas en eficiencia, precisión y velocidad en el descubrimiento y uso de fármacos. Sin embargo, su aplicación exitosa depende de la disponibilidad de datos de alta calidad, la consideración de preocupaciones éticas y el reconocimiento de las limitaciones de los enfoques basados en IA (Blanco-González et al., 2023).

Un desafío principal es la falta de datos estandarizados. El sector farmacéutico tiene conjuntos de datos vastos y diversos, incluidos datos de ensayos clínicos, registros de pacientes e información genómica. La ausencia de formatos estandarizados y problemas de interoperabilidad entre estos conjuntos de datos pueden impedir la integración perfecta

de las soluciones de IA, lo que dificulta que las empresas farmacéuticas aprovechen todo el potencial de la IA en los procesos de toma de decisiones basados en datos. En muchos casos, no entendemos la biología lo suficientemente bien como para definir lo que necesitamos medir; y la elección de criterios de valoración indirectos, ya sea que estén relacionados con propiedades fisicoquímicas, farmacocinética, eficacia o seguridad, siempre están asociados con una incertidumbre significativa sobre cómo se traducen en la práctica clínica (Bender y Cortés-Ciriano, 2021b). Lo anterior limita la disponibilidad y calidad de los datos para entrenar modelos de IA, más aún en regiones donde las prácticas de estandarización e intercambio de datos pueden variar. La interpretabilidad y explicabilidad de los conocimientos generados por la IA también son preocupaciones importantes, en el campo altamente regulado de los productos farmacéuticos (Sampene et al., 2024).

Para avanzar verdaderamente en el campo de la IA farmacológica, es necesario comprender mejor la biología y generar datos precisos relacionados tanto con los criterios de valoración de eficacia como de seguridad (Bender y Cortés-Ciriano, 2021b) por lo que se requiere presentar mejores candidatos a la práctica clínica, validar los objetivos, mejorar el reclutamiento de pacientes y avanzar en la forma en que se realizan los ensayos clínicos (Basáez y Mora, 2022).

6.6 Conclusiones

La IA en el campo médico tiene el potencial de transformar el proceso de desarrollo de fármacos al proporcionar herramientas avanzadas para la investigación, la predicción del uso, la formación y práctica de profesionales de la salud, lo que podría conducir a una mejora en la atención al paciente y en el descubrimiento de medicamentos más seguros y efectivos.

Se espera que la IA en estas áreas continúe creciendo y expandiéndose, como en el uso de simulaciones específicas tanto epidemiológicas como

para pacientes individuales, que permitan a los investigadores practicar y optimizar tratamientos antes de aplicarlos en la clínica. De igual forma los sistemas de aprendizaje adaptativo impulsados por IA podrían personalizar la experiencia de formación.

Si bien la IA ha traído consigo numerosos beneficios, también ha planteado desafíos importantes. La necesidad de datos de alta calidad y éticamente recopilados es fundamental para el desarrollo y la implementación exitosos de algoritmos de IA en medicina y farmacología. Además, la interpretación de los resultados generados por los algoritmos de IA requiere un profundo conocimiento teórico, biológico, científico, clínico y ético.

Referencias

- Bagabir, S. A., Ibrahim, N. K., Bagabir, H. A. and Ateeq, R. (2022). Covid-19 and Artificial Intelligence: Genome sequencing, drug development and vaccine discovery. *Journal of Infection and Public Health*, 15(2), 289-296. <https://doi.org/10.1016/j.jiph.2022.01.011>.
- Basáez, E. y Mora, J. (2022). Salud e inteligencia artificial: ¿cómo hemos evolucionado? *Revista Médica Clínica las Condes*, 33(6), 556-561. <https://doi.org/10.1016/j.rmclc.2022.11.003>.
- Bender, A. and Cortés-Ciriano, I. (2021a). Artificial intelligence in drug discovery: what is realistic, what are illusions? Part 1: Ways to make an impact, and why we are not there yet. *Drug Discovery Today*, 26(2), 511-524. <https://doi.org/10.1016/j.drudis.2020.12.009>.
- Bender, A. and Cortés-Ciriano, I. (2021b). Artificial intelligence in drug discovery: what is realistic, what are illusions? Part 2: a discussion of chemical and biological data. *Drug Discovery Today*, 26(4), 1040-1052. <https://doi.org/10.1016/j.drudis.2020.11.037>.

- Blanco-González, A., Cabezón, A., Seco- González, A., Conde-Torres, D., Antelo-Riveiro, P., Piñeiro, Á. and García-Fandiño, R. (2023). The Role of AI in Drug Discovery: Challenges, Opportunities, and Strategies. *Pharmaceuticals*, 16(6), 891. <https://doi.org/10.3390/ph16060891>.
- Brown, N., Ertl, P., Lewis, R. A., Luksch, T., Reker, D. and Schneider, N. (2020). Artificial intelligence in chemistry and drug design. *Journal of Computer-aided Molecular Design*, 34(7), 709-715. <https://doi.org/10.1007/s10822-020-00317-x>.
- Chen, W., Liu, X., Zhang, S. and Chen, S. (2023). Artificial intelligence for drug discovery: Resources, methods, and applications. *Molecular Therapy. Nucleic Acids*, 31, 691-702. <https://doi.org/10.1016/j.omtn.2023.02.019>.
- Jiménez-Luna, J., Grisoni, F. and Schneider, G. (2020). Drug discovery with explainable artificial intelligence. *Nature Machine Intelligence*, 2(10), 573-584. <https://doi.org/10.1038/s42256-020-00236-4>.
- Lv, H., Shi, L., Berkenpas, J. W., Dao, F., Zulfiqar, H., Ding, H., Zhang, Y., Yang, L. and Cao, R. (2021). Application of artificial intelligence and machine learning for COVID-19 drug discovery and vaccine design. *Briefings in Bioinformatics*, 22(6). <https://doi.org/10.1093/bib/bbab320>.
- Mohanty, S., Rashid, H. A., Mridul, M., Mohanty, C. and Swayamsiddha, S. (2020). Application of Artificial Intelligence in COVID-19 drug repurposing. *Diabetes & Metabolic Syndrome: Clinical Research & Reviews*, 14(5), 1027-1031. <https://doi.org/10.1016/j.dsx.2020.06.068>.
- Sampene, A.K. and Nyirenda, F. (2024) Evaluating the effect of artificial intelligence on pharmaceutical product and drug discovery in China. *Future Journal of Pharmaceutical Sciences*. 10, 58. <https://doi.org/10.1186/s43094-024-00632-2>.

Selman-Álvarez, R., Figueroa-Fernández, Ú., Cruz-Mackenna, E., Jarry, C., Escalona, G., Corvetto, M. y Varas, J. (2023). Inteligencia artificial en simulación médica: estado actual y proyecciones futuras. *Revista Latinoamericana de Simulación Clínica*, 5(3), 117-122. <https://doi.org/10.35366/114035>.



Dirección de Investigación Unilasallista
Caldas - Antioquia
Junio de 2024