

Tendencias biotecnológicas y tecnologías 4.0 aplicadas en el control de la inocuidad alimentaria

Biotechnological trends and technologies 4.0 applied to food safety control

Ginna Alejandra Ordóñez Narvárez¹

Johanna España Muñoz²

Magda Piedad Valdés Restrepo³

Andrea Vásquez García⁴

Liliana Londoño Hernández⁵

Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Colombia

Resumen

La inocuidad alimentaria es definida por la Organización Mundial de la Salud (OMS), como el conjunto de condiciones, medidas y herramientas para fortalecer las economías de cada país a través del comercio de los alimentos y garantizar la seguridad alimentaria y nutricional en el mundo. En este documento se presenta una corta revisión de las últimas tendencias de las tecnologías implementadas para el control de la inocuidad de los alimentos, utilizadas principalmente como parte de los sistemas de control de la inocuidad, los cuales buscan de manera eficaz prevenir, monitorear y mitigar el riesgo de ocurrencia de las enfermedades transmitidas por alimentos (ETAS). Los autores relacionados, señalaron que la cadena de suministro de alimentos debe tener la capacidad de utilizar las herramientas tecnológicas y biotecnológicas de manera combinada con sus métodos analíticos

¹ Ingeniera agroindustrial, magíster y doctora en Ciencias Agrarias. <https://orcid.org/0000-0002-1890-9875/> ginna.ordonez@unad.edu.co

² Ingeniera agroindustrial, estudiante de la maestría en Biotecnología Alimentaria, <https://orcid.org/0000-0002-1576-8202/> jspanamu@unadvirtual.edu.co

³ Ingeniera agrónoma, ingeniera agroindustrial, magíster en Ciencias Agrarias-fitomejoramiento, doctora en Ciencias Agrarias-Mejoramiento Genético Vegetal. <https://orcid.org/0000-0001-9594-0289/> magda.valdes@unad.edu.co

⁴ Ingeniera agroindustrial, magíster y doctora en Ingeniería de Alimentos, <https://orcid.org/0000-0002-6387-3269/> andrea.vasquez@unad.edu.co

⁵ Ingeniera de alimentos, magíster en Ciencia y Tecnología de Alimentos, doctora en Ciencia y Tecnología de Alimentos, <https://orcid.org/0000-0002-5288-5272/> liliana.londono@unad.edu.co

disponibles, para hacer más eficientes los sistemas alimentarios, de tal forma que sea más confiable establecer relaciones de causalidad entre las fuentes contaminantes, los vectores y las enfermedades o incluso las muertes provocadas por dicho suceso.

Palabras clave: biotecnología, ingeniería de alimentos, seguridad alimentaria, calidad.

Abstract

Food safety is defined by the World Health Organization (WHO) as the set of conditions, measures and tools to strengthen the economies of each country through food trade and ensure food and nutritional security in the world. This paper presents a short review of the latest trends in technologies implemented for food safety control, mainly used as part of food safety control systems, which effectively seek to prevent, monitor, and mitigate the risk of occurrence of foodborne diseases (FADs). The related authors pointed out that the food supply chain should be able to use technological and biotechnological tools in combination with their available analytical methods to make food systems more efficient, so that it is more reliable to establish causal relationships between contaminant sources, vectors and diseases or even deaths caused by such an event.

Keywords: Biotechnology, food engineering, food safety, quality.

1. Introducción

En el control de la inocuidad alimentaria existen diferentes factores externos e internos de la cadena de producción de alimentos, que favorecen la aparición de enfermedades transmitidas por alimentos –ETA– las cuales se generan principalmente por microorganismos patógenos o toxinas provenientes de agentes químicos o físicos. La innovación en la cadena alimentaria para mejorar la evaluación del control de la inocuidad se basa en la combinación de diferentes herramientas que permitan la detección temprana, rápida y confiable (Bu *et al.*, 2021).

Para garantizar la inocuidad en la industria alimentaria se están utilizando tecnologías de última generación que permiten tener mayor control y vigilancia en toda la cadena productiva; desde la producción primaria, el procesamiento, la transformación y en la cadena de distribución (Huertas *et al.*, 2019)

Para la detección de microorganismos las industrias alimentarias y los laboratorios de vigilancia requieren métodos rápidos y sensibles por el gran número de muestras que deben evaluar, los microorganismos tienen que ser detectados en presencia de la flora acompañante, cuya composición y abundancia variará y dependerá del tipo de muestra y del alimento implicado (Huertas *et al.*, 2019).

El enfoque tradicional basado en cultivos para detectar microorganismos tiene baja sensibilidad y requiere mucho trabajo y tiempo, y generalmente requiere un tiempo de cultivo prolongado. Por otra parte, los sistemas convencionales para recopilar y reproducir la información son ineficientes, los reportes epidemiológicos forjan brechas entre la procedencia, el incidente y el vector, generando de esta forma dificultades para la acción rápida en atención a un evento de ETA (Bu *et al.*, 2021).

Por lo tanto, el desarrollo y la optimización de alternativas novedosas para el seguimiento, caracterización y enumeración de patógenos y contaminantes en alimentos es uno de los aspectos clave en la vigilancia de los alimentos, y se vuelve cada vez más importante para la agricultura, la industria alimentaria y los consumidores (Huertas *et al.*, 2019).

Las nuevas tecnologías aplicadas a los procesos de producción permiten que las cadenas agroalimentarias sean más seguras, más eficientes y sostenibles (Bouzembrak *et al.*, 2019). En este documento se presentan algunas de las tendencias tecnológicas y biotecnológicas utilizadas en el control de la inocuidad alimentaria, mediante una revisión de fuentes bibliográficas.

2. Metodología

Se utilizó un método de revisión bibliográfica según el esquema de la Figura 1. Se consultó la base de datos Scielo de la biblioteca de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia y el portal de Google académico. Se definió como rango de búsqueda artículos y documentos publicados máximo hace cinco (5) años desde 2019 a 2023 incluidos.

Se utilizaron las siguientes palabras clave: biotecnología, ingeniería de alimentos, seguridad alimentaria y calidad, las cuales se utilizaron combinadas y en ecuaciones de búsqueda simple que permitió identificar en total 224 documentos, a partir de los cuales se realizó la selección, elección y finalmente se incluyeron 12 en la revisión de la temática.

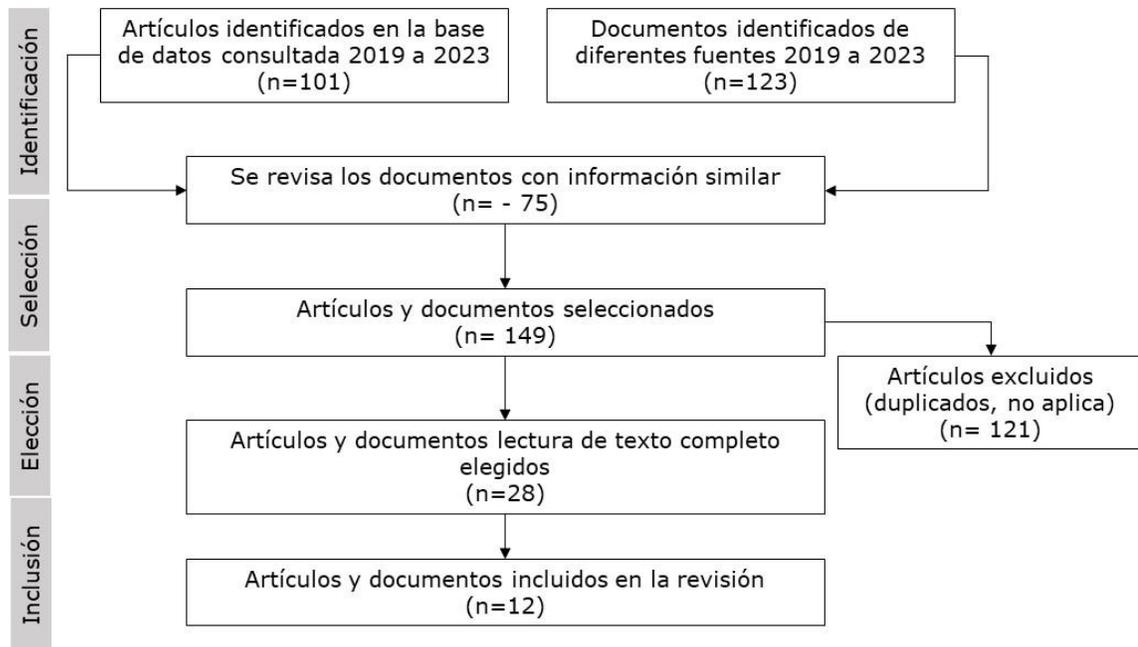


Figura 1. Esquema de revisión bibliográfica utilizada (elaborada por las autoras).

3. Resultados y discusión

Los autores incluidos en esta revisión señalan tendencias en el desarrollo de herramientas para el control de la inocuidad alimentaria a través del aporte de la biotecnología y la industria 4.0 destacando la integración de estas para el mejoramiento de los sistemas de gestión de la calidad y la seguridad alimentaria.

3.1 Tendencias biotecnológicas

Se destacan las técnicas moleculares que permiten la rápida y eficiente detección de microorganismos patógenos; Huertas-Caro *et al.*, (2019) y Rajakumar *et al.*, (2022) mostraron que la reacción de cadena de la polimerasa en tiempo real (qPCR) combina la amplificación de secuencias específicas de ADN y tiene como ventaja operar en condiciones libres de contaminación a través de un ensayo automatizado, genera resultados cuantitativos en menor tiempo, aporta mayor sensibilidad y seguridad, que según la norma ISO 16140 del 2003 y la Asociación Francesa de Normalización (AFNOR) permite un cribado alternativo para la evaluación de patógenos alimentarios, incluidos *Mycobacterium tuberculosis* en lácteos, *Salmonella tiphy* en huevos y parásitos tales como *Toxoplasma gondii*, *Plasmodium spp.* en cárnicos.

Otra herramienta novedosa es la electroforesis en gel de campo pulsado (PFGE); Balboa (2022) y Zotta *et al.*, (2019) indicaron que esta técnica permite la comparación epidemiológica de los microorganismos encontrados en un brote de ETA. Se basa en la migración del ADN por polaridad a través de un gel concentrado, entre dos campos eléctricos utilizando enzimas de restricción; su aplicación en alimentos se basa en subtipificar los microorganismos implicados en ETA discriminando entre los diferentes agentes bacterianos epidemiológicamente relacionados. Identifica genes de resistencia a antibióticos y caracteriza genéticamente, por ejemplo, la toxina Shiga producida por *Escherichia coli*, además asocia los patrones de similitud molecular entre las cepas patógenas a las causas de su transmisión.

Estudios recientes muestran el alcance de técnicas como CRISPR/Cas; Nieves-Cuervo (2020), Mao *et al.*, (2022) y Hajikhani *et al.*, (2023) señalaron que la edición genética utilizando CRISPR/Cas12a constituye una poderosa herramienta de biodetección en la seguridad alimentaria para la edición de genes y el diagnóstico de ácidos nucleicos simultáneamente en detección de virus patógenos transmitidos por alimentos ampliando directamente los ácidos nucleicos.

3.2 Tendencias tecnológicas 4.0

Las tecnologías 4.0 no son ajenas a la industria de alimentos, la digitalización de la información, almacenamiento de datos, las aplicaciones móviles y software de gestión y control, son algunas de las iniciativas desarrolladas para cada eslabón de la cadena alimentaria.

Bouzembrak *et al.*, (2019) expusieron que el uso del Internet de las cosas (IoT) se adapta en la creación de condiciones favorables e inocuas en la cadena de distribución de alimentos, ya que, las interfaces inteligentes pueden conectarse a cualquier tipo de sensores para el monitoreo de variables como la temperatura, la luz, el movimiento y la ubicación, utilizando diferentes medios de comunicación como el bluetooth o las conexiones 4G y 5G.

Por su parte Rajakumar *et al.*, (2022) propusieron usar el IoT para controlar parámetros como salinidad, cantidad, actividad microbiana y adulteración mediante sensores de gas y así generar una alerta temprana en empaques inteligentes, lo cual se traduce en controlar los puntos críticos de control (HACCP), monitorear los alimentos adulterados, la contaminación, la degradación y finalmente prevenir la aparición de una ETA.

Leng *et al.*, (2019) señalaron que implementar la tecnología de identificación por radiofrecuencias (RFID), permite favorecer la trazabilidad, dado que identifica destinos específicos mediante señales de radiofrecuencia y/o microondas, sobre todo en el transporte y distribución de alimentos, disminuyendo los riesgos de pérdidas en la calidad del producto a través de vulnerabilidades y la advertencia previa de seguridad alimentaria.

Finalmente Wang, Han & Beynon-Davies (2019) y Enríquez García, (2020) plantean que una herramienta como el blockchain es utilizada como registro digital descentralizado que permite que todos los integrantes de una cadena de suministro de alimentos accedan libre y fácilmente a la información, permite cerrar una transacción en un espacio en línea compartido, por lo cual el uso de esta tecnología se resume en visibilidad, trazabilidad extendidas, digitalización, mejora en la seguridad de los datos y contratos inteligentes, reduciendo factores como el contrabando de alimentos que desencadena en contaminación natural, accidental y deliberada de productos.

4. Conclusión

En el control de la inocuidad alimentaria las herramientas tecnológicas deben ser eficientes y efectivas en la detección temprana y en el suministro de información, con el uso y combinación de las tecnologías innovadoras descritas, es posible satisfacer la necesidad de diagnóstico y replica, así como la comunicación y el acceso al conocimiento, de tal manera que, la vigilancia de la calidad y la inocuidad será confiable para una población que busca mejorar los sistemas de atención de la salud, disminuir la ocurrencia de ETAS y viabilizar el desarrollo económico y social de las economías en el mundo.

Referencias

- Balboa-Torres, J. C. (2022). *Metodología de detección e identificación de patógenos en alimentos*. (Tesis de grado). Universidad de Jaén.
- Bouzembrak, Y., Klüche, M., Gavai, A., & Marvin, H. J. P. (2019). Internet of Things in food safety: Literature review and a bibliometric analysis. *Trends in Food Science & Technology*, 94, 54–64. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2019.11.002>
- Bu, S., Liu, X., Wang, Z., Wei, H., Yu, S., Li, Z., Hao, Z., Liu, W., & Wan, J. (2021). Ultrasensitive detection of pathogenic bacteria by CRISPR/Cas12a coupling with a primer exchange reaction. *Sensors*

and Actuators B: Chemical, 347.
<https://doi.org/10.1016/J.SNB.2021.130630>

Enríquez García, H. C. (2020). Tecnología blockchain en cadenas de suministro; mito, realidad o proyección. *Revista de la facultad de Ciencias Económicas*, 24(1), 173-188.
<https://doi.org/10.30972/rfce.2414366>

Huertas, C., Urbano, E., & Torres, M. (2019). Diagnóstico molecular una alternativa para la detección de patógenos en alimentos. *Revista Habanera de Ciencias Médicas*, 18(3).
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1729-519X2019000300513

Hajikhani, M., Zhang, Y., Gao, X., & Lin, M. (2023). Advances in CRISPR-based SERS detection of food contaminants: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 138, 615-627.
<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.07.001>

Leng, K., Jin, L., Shi, W., & Van Nieuwenhuysse, I. (2019). Research on agricultural products supply chain inspection system based on internet of things. *Cluster Computing*, 22, 8919–8927.
<https://doi.org/10.1007/s10586-018-2021-6>

Mao, Z., Chen, R., Wang, X., Zhou, Z., Peng, Y., Li, S., Han, D., Li, S., Wang, Y., Han, T., Liang, J., Ren, S., & Gao, Z. (2022). CRISPR/Cas12a-based technology: A powerful tool for biosensing in food safety. *Trends in Food Science & Technology*, 122, 211–222.
<https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2022.02.030>

Nieves-Cuervo, G. M. (2020). Fortalecimiento de los sistemas de salud pública por medio de la visión de Una Salud. *Salud UIS*, 52(3), 201-203. <http://dx.doi.org/10.18273/revsal.v52n3-2020001>

Rajakumar, G., Ananth, T., Arun, S., & Muthu, K. (2022). Iot Based Milk Monitoring System for the Detection of Milk Adulteration. *ESP Journal of Engineering & Technology Advancements*, 2(2), 6–9.
<https://doi.org/10.56472/25832646/esp-v2i2p102>

Wang, Y., Han, J.H. and Beynon-Davies, P. (2019), Understanding blockchain technology for future supply chains: a systematic literature review and research agenda. *Supply Chain Management*, 24(1), 62-84. <https://doi.org/10.1108/SCM-03-2018-0148>

Zotta, C. M., Lavayén, S., Deza, N., Cepeda, M., Zolezzi, G., Morvay, L., ... & Rivas, M. (2019). Infecciones por *Escherichia coli* productora de toxina Shiga O121: H19 en pacientes atendidos en Mar del Plata. *Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana*, 53(2), 193-201. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=53560335006>