

UNEMI

UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

REPÚBLICA DEL ECUADOR

UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO
FACULTAD DE POSGRADO

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y
POSGRADO

FACULTAD DE POSGRADO

INFORME DE INVESTIGACIÓN
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

MAGÍSTER EN BIOTECNOLOGÍA

TEMA:

TENDENCIAS DEL USO DE BIOSENSORES EN LA INDUSTRIA DE ALIMENTOS
PARA LA DETECCIÓN DE MICROORGANISMOS PATÓGENOS: UN ESTUDIO

BIBLIOMÉTRICO

Autor:

Narcisa De Jesús Quito Castillo

Director:

Rafael Seleyman Lazo Sulca

Milagro, 2025

Derechos de Autor

Sr. Dr.

Fabricio Guevara Viejó

Rector de la Universidad Estatal de Milagro

Presente.

Yo, **Narcisa de Jesús Quito Castillo**, en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales de este informe de investigación, mediante el presente documento, libre y voluntariamente cedo los derechos de Autor de este proyecto de desarrollo, que fue realizada como requisito previo para la obtención de mi Grado, de Magíster en Biotecnología, como aporte a la Línea de Investigación **Innovación tecnológica en procesos de producción alimentaria** de conformidad con el Art. 114 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, concedo a favor de la Universidad Estatal de Milagro una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos. Conservo a mi favor todos los derechos de autor sobre la obra, establecidos en la normativa citada.

Así mismo, autorizo a la Universidad Estatal de Milagro para que realice la digitalización y publicación de este Proyecto de Investigación en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

El autor declara que la obra objeto de la presente autorización es original en su forma de expresión y no infringe el derecho de autor de terceros, asumiendo la responsabilidad por cualquier reclamación que pudiera presentarse por esta causa y liberando a la Universidad de toda responsabilidad.

Milagro, 07 de agosto del 2025

Narcisa de Jesús Quito Castillo

C.I.: 1712394061

Aprobación del Tutor del Trabajo de Titulación

Yo, **Rafael Seleyman Lazo Sulca**, en mi calidad de tutor del trabajo de titulación, elaborado por **Narcisa de Jesús Quito Castillo**, cuyo tema es **Tendencias del uso de biosensores en la industria de alimentos para la detección de microorganismos patógenos: un estudio bibliométrico**, que aporta a la Línea de Investigación **Innovación tecnológica en procesos de producción alimentaria**, previo a la obtención del Grado **Magíster en Biotecnología**. Trabajo de titulación que consiste en una propuesta innovadora que contiene, como mínimo, una investigación exploratoria y diagnóstica, base conceptual, conclusiones y fuentes de consulta, considero que el mismo reúne los requisitos y méritos necesarios para ser sometido a la evaluación por parte del tribunal calificador que se designe, por lo que lo **APRUEBO**, a fin de que el trabajo sea habilitado para continuar con el proceso de titulación de la alternativa de Informe de Investigación de la Universidad Estatal de Milagro.

Milagro, 07 de agosto de 2025

Rafael Seleyman Lazo Sulca

C.I.: 0918859687

Certificación de Defensa



VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO FACULTAD DE POSGRADO ACTA DE SUSTENTACIÓN MAestrÍA EN BIOTECNOLOGÍA

En la Facultad de Posgrado de la Universidad Estatal de Milagro, a los cuatro días del mes de agosto del dos mil veinticinco, siendo las 10:00 horas, de forma VIRTUAL comparece el/la maestrante, QUITO CASTILLO NARCISA DE JESÚS, a defender el Trabajo de Titulación denominado " **TEDENCIAS DEL USO DE BIOSENSORES EN LA INDUSTRIA DE ALIMENTOS PARA LA DETECCIÓN MICRORGANISMOS PATÓGENOS: UN ESTUDIO BIBLIOMÉTRICO.**", ante el Tribunal de Calificación integrado por: Mgs. BARZALLO GRANIZO DIEGO GEOVANNY, Presidente(a), Mae. GUILLEN BONILLA ALEX EDWIN en calidad de Vocal; y, Ph.D. VALENZUELA COBOS JUAN DIEGO que actúa como Secretario/a.

Una vez defendido el trabajo de titulación; examinado por los integrantes del Tribunal de Calificación, escuchada la defensa y las preguntas formuladas sobre el contenido del mismo al maestrante compareciente, durante el tiempo reglamentario, obtuvo la calificación de: **98.00** equivalente a: **EXCELENTE**.

Para constancia de lo actuado firman en unidad de acto el Tribunal de Calificación, siendo las 11:00 horas.



Mgs. BARZALLO GRANIZO DIEGO GEOVANNY
PRESIDENTE/A DEL TRIBUNAL



Mae. GUILLEN BONILLA ALEX EDWIN
VOCAL



Ph.D. VALENZUELA COBOS JUAN DIEGO
SECRETARIO/A DEL TRIBUNAL



QUITO CASTILLO NARCISA DE JESÚS
MAGÍSTER

Dedicatoria

El presente trabajo de investigación lo dedico primeramente a Dios, porque es dueño de mi existencia, a mi querido Esposo por su amor, comprensión y apoyo en todas mis metas fijadas, a mi preciosa Hija porque a su corta edad me ha enseñado el significado de valentía. A mi respetado Padre por quien soy dichosa de tenerlo conmigo. A mis Ángeles del Cielo, por cuidar de mí y bendecirme siempre.

Agradecimientos

A Dios por iluminar mi camino para seguir adelante venciendo las barreras que se puedan presentar a lo largo de mi vida. A mi familia, en especial a mi Esposo por apoyarme en los momentos difíciles. A la Universidad Estatal de Milagro y su personal Docente quienes me brindaron su apoyo en este proceso y compartieron su conocimiento y experiencia.

Resumen

La presente investigación aborda la temática actual relacionada con los patógenos transmitidos por alimentos, generando enfermedades a la población, y donde los biosensores se han convertido en aliados poderosos para su detección. El problema central que aborda este estudio nace de la falta de identificación de tendencias, y autores clave en la temática, generando la siguiente pregunta ¿Cuáles son las tendencias investigativas en la producción científica sobre el uso de biosensores en la detección de patógenos en alimentos? Por lo que, el objetivo general de la investigación es analizar la producción científica en el campo de los biosensores aplicados para la detección de patógenos. La metodología aplicada consiste en un análisis bibliométrico, con un enfoque cuantitativo, en base a las directrices de la declaración PRISMA. La muestra seleccionada es de 269 publicaciones en revistas del cuartil Q1, extraídos de Scopus, de los que se obtuvieron métricas, mediante el uso de Bibliometrix. Entre los principales resultados se observa que los principales artículos están concentrados en la revista *Biosensors and Bioelectronics*, además de una alta producción y colaboración interdisciplinarias. Entre las conclusiones más relevantes está la evolución de la investigación en aptámeros o CRISPR, revelando que el campo de investigación está avanzando más allá del uso tradicional de la biología.

Palabras clave: Biosensores, patógenos, bibliometría, seguridad alimentaria.

Abstract

This research addresses the current topic related to foodborne pathogens, which cause illness in the population, and where biosensors have become powerful allies for their detection. The central problem addressed by this study arises from the lack of identification of trends and key authors in the subject, generating the following question: What are the research trends in scientific production on the use of biosensors in the detection of pathogens in food? Therefore, the general objective of the research is to analyze scientific production in the field of biosensors applied to pathogen detection. The methodology applied consists of a bibliometric analysis, with a quantitative approach, based on the guidelines of the PRISMA declaration. The selected sample is 269 publications in journals of the Q1 quartile, extracted from Scopus, from which metrics were obtained using Bibliometrix. Among the key findings, we observed that the leading articles are concentrated in the journal Biosensors and Bioelectronics, in addition to a high level of production and interdisciplinary collaboration. Among the most relevant conclusions is the evolution of research into aptamers or CRISPR, revealing that the field of research is advancing beyond traditional uses in biology.

Key words: Biosensors, pathogens, bibliometrics, food safety.

Lista de Figuras

Figura 1 Elementos de un biosensor	16
Figura 2 Aplicaciones de biosensores en la medicina	19
Figura 3 Aplicaciones de biosensores en la seguridad alimentaria.....	20
Figura 4 Aplicaciones de biosensores en el medio ambiente	21
Figura 5 Flujograma adaptado del modelo PRISMA	41
Figura 6 Principales resultados del análisis bibliométrico	45
Figura 7 Producción científica anual	46
Figura 8 Revistas lideres en el campo de biosensores	47
Figura 9 Autores más relevantes	48
Figura 10 Documentos más citados.....	49
Figura 11 Palabras clave más relevantes	50
Figura 12 Nube de palabras de la muestra seleccionada	50
Figura 13 Red de correferencias de términos conceptuales	51
Figura 14 Gráfico Degree Plot	52

Lista de Tablas

Tabla 1 Declaración de variables.....	8
Tabla 2 Operacionalización de la variable dependiente.....	9
Tabla 3 Características de los biosensores.....	15
Tabla 4 Tipos de biosensores.....	17
Tabla 5 Tipos de patógenos.....	24
Tabla 6 Enfermedades alimentarias causadas por patógenos.....	26
Tabla 7 Tipos de sistemas de detección temprana para alimentos.....	30
Tabla 8 Principales métricas de desempeño bibliométrico.....	34
Tabla 9 Principales métricas de mapeo científico.....	35
Tabla 10 Criterios de inclusión.....	39
Tabla 11 Criterios de exclusión.....	40
Tabla 12 Clasificación de los documentos por cuartiles.....	40
Tabla 13 N. de documentos por clúster.....	43
Tabla 14 Innovaciones en biosensores.....	54
Tabla 15 Avances de biosensores en detección de patógenos y resistencia alimentaria.....	56
Tabla 16 Tecnologías avanzadas en el biosensado.....	60

Índice / Sumario

Derechos de Autor	II
Aprobación del Tutor del Trabajo de Titulación	III
Certificación de Defensa	IV
Dedicatoria	V
Agradecimientos.....	VI
Resumen	VII
Abstract	VIII
Lista de Figuras	ii
Lista de Tablas	iii
Índice / Sumario.....	iv
Introducción	1
CAPÍTULO I: El Problema de la Investigación	4
1.1 Planteamiento del problema.....	4
1.2 Delimitación del problema	5
1.3 Formulación del problema	6
1.4 Preguntas de investigación	6
1.5 Objetivos	6
1.5.1 Objetivo general	6
1.5.2 Objetivos específicos.....	6
1.6 Hipótesis	7
1.7 Justificación	7
1.8 Declaración de las variables (Operacionalización)	8
CAPÍTULO II: Marco Teórico Referencial	11
2.1. Antecedentes Referenciales	11
2.2. Marco Conceptual	14
2.2.1 Biosensores	14

2.2.2 Patógenos.....	22
2.2.3 Seguridad alimentaria.....	28
2.2.4 Bibliometría.....	33
2.2.5 Declaración PRISMA.....	36
CAPÍTULO III: Diseño Metodológico.....	38
3.1. Tipo y diseño de investigación.....	38
3.2. La población y la muestra.....	39
3.3. Los métodos y las técnicas.....	42
3.4. Procesamiento estadístico de la información.....	43
CAPÍTULO IV: Análisis e Interpretación de Resultados.....	45
4.1. Análisis e interpretación de resultados.....	45
4.2. Análisis de correferencias.....	51
4.2.1 Análisis clúster 1. Innovaciones tecnológicas en biosensores para la detección de riesgos microbiológicos y toxinas en alimentos.....	52
4.2.2 Análisis clúster 2. Avances en biosensores en la industria alimentaria para la detección de patógenos y resistencia antibiótica.....	55
4.2.3 Análisis clúster 3. Tecnologías avanzadas de biosensado para el análisis de riesgos en la industria alimentaria.....	58
4.2.1 Análisis clúster 4. Aptasensores y nanomateriales en la detección de patógenos y resistencia antibiótica aplicados a los alimentos.....	62
CAPÍTULO V: Conclusiones, Discusión y Recomendaciones.....	64
5.1. Discusión.....	64
5.2. Conclusiones.....	70
5.3. Recomendaciones.....	71
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	74
ANEXOS.....	90
Anexo 1. Lista de verificación PRISMA 2020.....	90
Anexo 2. Flujograma PRISMA 2020.....	94

Introducción

La seguridad alimentaria es una de las prioridades a nivel mundial en temas de salud pública. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), patógenos como bacterias, virus o parásitos transmitidos por alimentos, están dentro de las principales causas de enfermedades, cuyas consecuencias van desde leves afecciones gastrointestinales, hasta condiciones que afectan a todo el organismo. Siendo este problema acentuado en países en vías de desarrollo, donde las enfermedades transmitidas por alimentos se han convertido en una carga para los sistemas de salud pública.

En este contexto, el desarrollo científico ha dedicado un alto interés al desarrollo de tecnologías que ayuden a la detección temprana de patógenos en alimentos. Entre estas, se encuentran los biosensores, los cuales son dispositivos que combinan tanto componentes del tipo biológico, como electrónicos, que desde su descubrimiento y avances posteriores muestran el potencial para la identificación de patógenos de forma rápida y con precisión. Esto se refleja en el creciente interés académico, donde las innovaciones han permitido que el tema de biosensores se posicione como una tendencia dentro de la seguridad alimentaria (Hua et al., 2021).

No obstante, a pesar de que los biosensores se están posicionando como la solución ideal, tanto por su rapidez, como por su sensibilidad, la implementación a gran escala muestra dificultades en especial por los altos costos de producción, y las necesidades de robustez que requieren estos dispositivos para operar dentro de los entornos industriales y ambientes abiertos.

Es así, que el campo del estudio de biosensores muestra una alta y rápida expansión en la producción científica, en especial en los últimos años. Si bien, el crecimiento de los estudios es positiva, se observa una gran diversificación de

temáticas y conocimientos, que muchas veces hace difícil la identificación tanto de las tendencias de mayor relevancia y los científicos o autores que las lideran. Por lo que, al momento de realizar investigación en este campo se pueden duplicar esfuerzos u omitir estudios relevantes, ralentizando el avance investigativo.

En este contexto, el presente estudio tiene como finalidad el mapeo de la evolución de las producciones literarias científicas publicadas, en el tema de aplicaciones de biosensores para la detección de patógenos en alimentos, lo cual, permitirá identificar tendencia y las áreas en las cuales se ha centrado la investigación en los últimos años, así como los desafíos futuros que enfrenta el desarrollo científico en esta área.

Por lo que, para dar un contexto a los hallazgos del estudio se ha desarrollado un marco teórico que aborda los conceptos asociados a los biosensores, sus componentes, principios de funcionamiento, tipos, así como sus aplicaciones dentro de la seguridad alimentaria. Así mismo, se hace un resumen sobre lo que son los organismos patógenos, clasificación, mecanismo de transmisión y principales enfermedades que se propagan mediante los alimentos.

Además, dentro del marco teórico también se menciona el significado de bibliometría, como una herramienta de análisis cuantitativo, con sus principales métricas de desempeño. Así como se hace una síntesis de la declaración PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), la cual, es una guía con procedimientos estándar que ayudan al aseguramiento de la transparencia, y replicabilidad de los procesos de búsqueda, selección y análisis de la producción científica.

La metodología aplica un diseño no experimental, donde solo se observa y analiza la producción científica, sin manipulación de ninguna variable. El enfoque es

cuantitativo, donde se analizan de forma descriptiva los indicadores generados de las bases de datos recopiladas, donde se mide el número de publicaciones, citas, palabras clave, entre otras. La población está definida por todos los documentos científicos indexados en la base de datos Scopus, que en total fueron 506. La muestra seleccionada de forma intencional, está conformada por 269 artículos o estudios que están publicados en las revistas del primer cuartil Q1, por ser las de mayor impacto en la comunidad científica. Todos los metadatos recopilados han sido procesados mediante el BiblioShiny – Bibliometrix del RStudio. Se debe recalcar que el proceso aplicado desde la estrategia de búsqueda hasta los respectivos análisis se ha sujetado a los lineamientos de la declaración PRISMA.

Por lo tanto, el presente documento se encuentra organizado en cinco capítulos, el primero analiza y enuncia el problema de investigación, la justificación y objetivos del estudio. En el segundo capítulo se hace un desarrollo del marco teórico conceptual, de las variables a investigar en base a estudios recientes. Por su parte, en el capítulo tres se realiza el diseño metodológico donde se detallan las herramientas, técnicas e instrumentos para la recolección y análisis de datos. En el cuarto capítulo se presenta el análisis e interpretación de los resultados de las métricas bibliométricas, así como, del análisis de los cuatro clústeres temáticos más relevantes. Finalmente, en el quinto capítulo se discuten los resultados, así como se generan las principales conclusiones y recomendaciones derivadas del estudio.

Por lo expuesto, se espera que la investigación sea una herramienta que guíe a futuras líneas de investigación y nuevos investigadores. El estudio espera ser un recurso que permita comprender la evolución de la producción científica actual en tema de biosensores y la seguridad alimentaria, contribuyendo al fomento de la investigación y el conocimiento en otras áreas relacionadas al tema.

CAPÍTULO I: El Problema de la Investigación

1.1 Planteamiento del problema

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS) patógenos como bacterias, virus, hongos y parásitos pueden ser encontrados y transmitidos mediante los alimentos. Bacterias como la salmonella, listeria, campylobacter, helicobacter son las que mayor asociación tienen con enfermedades gastrointestinales, desde síntomas leves hasta afecciones de gravedad. En el caso de los hongos, estos producen micotoxinas en los alimentos; y parásitos, como la taenia saginata y el toxoplasma gondii, que debido a la mala cocción de los alimentos, pueden causar infecciones y problemas de salud (Rubia, 2023).

Las enfermedades transmitidas por alimentos (ETA), se han convertido en un problema de salud pública, siendo los países en vías de desarrollo los que muestran una mayor vulnerabilidad, con altos índices de morbi-mortalidad. Pero los países en desarrollo no son ajenos a esta problemática, donde el comercio internacional y migración han incrementado este riesgo, y para minimizar sus impactos se han elevado los costos de procesos de producción de alimentos y los asociados a los tratamientos de salud, afectando las economías locales (Huertas-Caro et al., 2019).

La detección de patógenos en los alimentos incluye diferentes técnicas, como la de cultivos en medios selectivos o pruebas selectivas. Estas evalúan diferentes factores como la tasa de crecimiento o reproducción, en diferentes condiciones ambientales, sin embargo, estas pueden tomar mucho tiempo (Balboa, 2022). En efecto, los métodos tradicionales, aunque efectivos, son laboriosos, y en la actualidad se busca técnicas rápidas, precisas, sensibles y específicas, donde los biosensores se están posicionando como una solución, pero aún limitada por sus altos costos (Balboa, 2022; Huertas-Caro et al., 2019).

Como lo menciona Dirpan et al. (2023) investigadores y académicos a nivel mundial han captado mucho interés sobre el estudio de los biosensores, los cuales, combinan tanto componentes biológicos, como enzimas y anticuerpos, con elementos electrónicos para detectar agentes patógenos en los alimentos. Por ejemplo, el uso de nanopartículas de oro (AuNps) con sus propiedades ópticas y eléctricas, detectan contaminantes y alérgenos de forma casi inmediata. (Hua et al., 2021).

Sin embargo, el análisis de los biosensores abarca varias disciplinas y aplicaciones, las cuales, pueden ser difíciles de identificar en un solo documento, generando subjetividad en el tipo de estudios a ser analizados. En este aspecto, es donde los estudios bibliométricos ayudan a desarrollar un examen preciso, sobre tendencias y permiten aclarar el camino hacia futuros estudios para crear una mayor oferta del estado del arte en los diferentes campos y áreas de la investigación (Sganzerla y da Silva, 2022).

Por lo expuesto, los biosensores y sus avances para la detección de patógenos dentro de la industria alimentaria es un área de investigación muy amplia, donde a medida que se va desarrollando la tecnología aparecen más elementos tanto teóricos como prácticos, ampliando el desarrollo de la producción científica. Es así que, a nivel local no se ha realizado un análisis sistematizado y detallado sobre la literatura asociada a los biosensores, para identificar las tendencias sobre la temática objeto de la presente investigación.

1.2 Delimitación del problema

El presente estudio tiene como finalidad el mapeo de la evolución de la producción literaria científica publicada a través del tiempo sobre las aplicaciones de biosensores para la detección de patógenos en alimentos, y así identificar las tendencias y áreas de mayor interés.

1.3 Formulación del problema

¿Cuáles son las tendencias investigativas en la producción científica sobre el uso de biosensores en la detección de patógenos en alimentos?

1.4 Preguntas de investigación

- 1) ¿Cuáles son las tendencias investigativas en la producción científica sobre el uso de biosensores en la detección de patógenos en alimentos?
- 2) ¿Cuáles son los países, autores e instituciones que mayor producción científica han aportado al tema de estudio?
- 3) ¿Cuál es la estructura conceptual de los términos utilizados en los estudios de biosensores aplicados a la detección de patógenos en la industria alimentaria?

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Analizar la producción científica y el desarrollo del campo del uso de biosensores para la detección de patógenos en alimentos, identificando a los principales investigadores, instituciones y países involucrados, así como las tendencias investigativas y sus colaboraciones.

1.5.2 Objetivos específicos

- 1) Identificar las principales tendencias investigativas en la producción científica sobre el uso de biosensores en la detección de patógenos en alimentos.
- 2) Determinar a los países, autores e instituciones que tienen mayor producción científica sobre la utilización de biosensores en la detección de patógenos en alimentos.
- 3) Identificar los términos y conceptos utilizados en los estudios de biosensores para la detección de patógenos en alimentos.

1.6 Hipótesis

El análisis bibliométrico permitirá identificar las tendencias de la producción literaria científica, académica relacionada con las aplicaciones de biosensores para la detección de patógenos en alimentos en los últimos años, donde se ha evidenciado un crecimiento y alta diversificación temática, así como diferentes colaboraciones tanto a nivel de institucional, como internacionales, reflejando el interés global por garantizar la salud de las personas a través de la seguridad alimentaria.

1.7 Justificación

El desarrollo de un estudio bibliométrico, de acuerdo a He et al. (2020), se justifica porque de una manera cuantitativa y sistemática permite analizar el progreso, el impacto y las tendencias sobre determinado campo de la investigación, mediante el uso de diferentes métricas asociadas al número de publicaciones, autores citados, palabras clave recurrentes, la producción por países e instituciones; lo que ayuda a aceptar teorías o prácticas por parte de la comunidad científica. Además, este tipo de estudios apoya a la detección de vacíos y orienta a futuras líneas de investigación.

En el contexto del tema de investigación sobre el uso de biosensores en la industria alimentaria para la detección de patógenos, Kamdem et al. (2019) menciona que si bien hay diferentes investigaciones, estas abarcan diferentes enfoques y variables, pero a la par estas no logran generar una comprensión sobre los avances y tendencias específicas. En la práctica, identificar los diferentes estudios, permitirá analizar tendencias y avances en el campo de los biosensores, en especial en su implementación práctica en la industria alimentaria, mejorando tanto los sistemas de control así como la salud de la población (Hua et al., 2021).

Metodológicamente, el desarrollo de un análisis bibliométrico tiene relevancia dentro de la comunidad científica, ya que, mediante un enfoque cuantitativo, se podrá

evaluar el desempeño de las investigaciones por distintas temáticas, por instituciones, revistas científicas, países y las colaboraciones. En este sentido, los hallazgos que se generarán mediante la aplicación de métodos sistemáticos permitirán cumplir con los objetivos sin sesgos y validados para su difusión en el ámbito académico.

1.8 Declaración de las variables (Operacionalización)

A continuación, se presenta la declaración de variables para el presente estudio.

Tabla 1

Declaración de variables

Objetivo general	Hipótesis	Variable independiente	Variable dependiente
Analizar la producción científica y el desarrollo del campo del uso de biosensores para la detección de patógenos en alimentos, identificando a los principales investigadores, instituciones y países involucrados, así como las tendencias investigativas y sus colaboraciones.	El análisis bibliométrico permitirá identificar la producción literaria científica, académica relacionada con las aplicaciones de biosensores para la detección de patógenos en alimentos en los últimos años.	Técnicas de análisis bibliométrico. Método de selección de documentos.	Uso de biblioshiny y metodología PRISMA

Objetivos específicos	Hipótesis	Variable independiente	Variable dependiente
1. Identificar las principales tendencias investigativas en la producción científica sobre el uso de biosensores en	El estudio bibliométrico permite identificar las tendencias del uso de biosensores en la detección de patógenos en alimentos.	Análisis bibliométrico.	Tendencia de investigación sobre biosensores para la detección de patógenos en alimentos.

la detección de patógenos en alimentos.			
2. Determinar los países, autores e instituciones que tienen mayor producción científica sobre la utilización de biosensores en la detección de patógenos en alimentos.	Los países con mayor inversión en investigación y desarrollo, en conjunto con sus instituciones y autores dominan la producción científica en tema de biosensores usados en la detección de microorganismos patógenos	Análisis bibliométrico.	Países, instituciones, autores y colaboraciones en estudios sobre biosensores para la detección de patógenos en alimentos.
3. Identificar los términos y conceptos utilizados en los estudios de biosensores para la detección de patógenos en los alimentos.	El estudio bibliométrico sobre biosensores aplicados en la industria permite la identificación de términos específicos utilizados en los diferentes estudios.	Análisis bibliométrico.	Estructura conceptual y de palabras clave.

A partir de las variables identificadas, a continuación, se presenta la operacionalización de estas:

Tabla 2

Operacionalización de la variable dependiente

Variables	Dimensiones	Indicadores
Producción científica sobre biosensores para la detección de patógenos en alimentos.	<ul style="list-style-type: none"> Diferentes características y factores del análisis bibliométrico 	<ul style="list-style-type: none"> Lista de control del método PRISMA para el análisis bibliométrico.
Tendencia de investigación sobre biosensores para la detección de patógenos en alimentos.	<ul style="list-style-type: none"> Temáticas principales analizadas. 	<ul style="list-style-type: none"> Frecuencia de palabras clave.

	<ul style="list-style-type: none"> • Evolución temporal de los temas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Frecuencia de palabras clave en el tiempo.
Países, instituciones, autores y colaboraciones en estudios sobre biosensores para la detección de patógenos en alimentos.	<ul style="list-style-type: none"> • Contribución por países. • Contribución por autores. • Redes de colaboración investigativa. 	<ul style="list-style-type: none"> • Número de publicaciones por país. • Número de publicaciones por autor. • Numero de colaboraciones.
Estructura conceptual y palabras clave en investigaciones sobre biosensores para la detección de patógenos en alimentos.	<ul style="list-style-type: none"> • Claridad en la terminología. • Relaciones conceptuales 	<ul style="list-style-type: none"> • Frecuencia de uso de términos • Clasificaciones temáticas

CAPÍTULO II: Marco Teórico Referencial

2.1. Antecedentes Referenciales

Iriawan et al. (2024) realizaron un estudio bibliométrico de las tendencias tecnológicas aplicadas en la industria alimentaria, para los años 2014 al 2024. Se identificaron 5.650 artículos, y se aplicaron los criterios del diagrama PRISMA para la inclusión o exclusión de los documentos. Las herramientas utilizadas incluyeron VOSviewer, que permitió identificar las tendencias más relevantes. Los hallazgos muestran que Estados Unidos tiene la mayor producción, en conjunto con Reino Unido, Alemania, Italia y China. Entre las principales temáticas están las relacionadas con la química de alimentos, la nanotecnología y los biosensores. El estudio recomienda futuras investigaciones en el uso de las nuevas tecnologías en el campo de los sistemas alimentarios sostenibles y la seguridad alimentaria.

Utami et al. (2024) en su trabajo tuvieron como finalidad analizar las tendencias de detección molecular de patógenos alimentarios para un periodo de 15 años (2008-2023). La metodología aplicada fue un análisis bibliométrico con una muestra de 2114 documentos obtenidos de Scopus. Las herramientas utilizadas incluyeron el uso de Vosviewer y R-Biblioshiny, los cuales permitieron observar la producción científica por tendencias (palabras clave), países, tecnologías, entre otras. Los resultados muestran que los países líderes en producción son Estados Unidos y China, donde las palabras clave más citadas se asocian a técnicas PCR y biosensores.

Por su parte Valente et al. (2024) en su investigación realizó un mapeo de la producción científica en el área de los biosensores. Mediante un análisis bibliométrico de los artículos en Web of Science, durante el periodo 2019 – 2023, se identificaron diferentes competencias globales tanto de conocimiento, como de colaboración. Entre los principales resultados se destaca que la mayor contribución científica proviene de

países como China, Estados Unidos y Rusia; no obstante, se observa que las colaboraciones interinstitucionales o entre ubicaciones geográficas no es muy amplia.

El estudio de Dirpan et al. (2023) tuvo como objetivo analizar la producción de publicaciones relacionada con biosensores aplicados en el monitoreo de la calidad de los alimentos entre los años 1991 al 2021, donde se evalúa tanto la contribución por autores, instituciones de investigación, colaboraciones entre países. La metodología aplicada es un análisis bibliométrico dividido en cuatro etapas: minería de datos en la base de datos de Scopus, filtrado, selección e interpretación. En total se seleccionaron 604 artículos, los cuales mostraron que la producción científica a lo largo de los años se ha ido incrementando, con países como China y Estados Unidos a la cabeza de la producción de las investigaciones.

Onyeaka et al. (2022) en su trabajo identificaron y analizaron las características de los 100 artículos más citados relacionados con seguridad alimentaria. Tomando como referencia a la base de datos Web of Science Core Collection, para un intervalo de años entre 1950-2020. Se empleó el software VOSviewer para observar las relaciones entre las palabras clave, autores, áreas de investigación, países e instituciones. En general, los resultados muestran un rápido crecimiento de las investigaciones de seguridad alimentaria, en especial en campos como la biotecnología, la microbiología, y el procesamiento de alimentos. El estudio también detectó poca producción en estudios sobre contaminación química de alimentos y la detección y prevención de fraudes alimentarios.

Yussof et al. (2022) analizaron las publicaciones relacionadas con los biosensores para la detección de *E.coli* mediante el uso de electrodos serigrafados (SPEs) y nanopartículas. En base a los artículos encontrados en Scopus para el periodo 2012 al 2021, los resultados mostraron que el desarrollo de este tipo de

biosensores ha implicado la colaboración de diferentes áreas de la investigación como biología, química analítica, optoelectrónica, ciencia de materiales y ciencia de datos. Los resultados muestran que los SPEs aunque de duración limitada, son los que mayores ventajas tienen en relación a otras tecnologías, siendo de los más utilizados dentro de los procesos de gestión alimentaria, previniendo enfermedades transmitidas por estos medios.

Fajardo et al. (2021) realizaron una investigación sobre el impacto de los biosensores piezoeléctricos, electroquímicos, ópticos y moleculares en el sector agrícola. Mediante la aplicación de VOSviewer se identificó que Estados Unidos, China, India e Italia son los países que más contribuyen a la producción científica. Entre las tendencias que más aparecen están los biosensores, la agricultura, las técnicas de biosensado. El análisis desarrollado para el periodo 2005 - 2020 muestra que el número de artículos aumentó en un 404.5% en dicho intervalo de años, producto del crecimiento en los avances de la ciencia de materiales y la nano ingeniería.

Zhang et al. (2018) analizaron el estado de las investigaciones a nivel mundial sobre las diferentes tecnologías de detección rápida de microorganismos en alimentos. La metodología fue análisis bibliométrico que abarcó las publicaciones entre 1925 a 2018, donde se utilizó la base de datos Science Citation Index Expanded (SCIE). Entre los resultados más relevantes, Estados Unidos encabeza la producción científica, seguidos por China, Alemania y España. Entre las revistas con mayor cantidad de artículos están *International Journal of Food Microbiology* y *Biosensors & Bioelectronics*. Entre los temas más recurrentes están la biología molecular, métodos inmunológicos, y el desarrollo de biosensores.

2.2. Marco Conceptual

2.2.1 Biosensores

Según la definición propuesta por la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC), un biosensor es un dispositivo que utiliza una reacción bioquímica precisa que es intervenida por el sistema inmunitario, enzimas aisladas, orgánulos o tejidos para la detección de compuestos químicos mediante la generación de señales ópticas, térmicas o eléctricas (Ramesh et al., 2023).

Un biosensor es un dispositivo de tipo analítico, que integra baroreceptores como enzimas, ADN, anticuerpos o células y un transductor, el cual, es el encargado de convertir las interacciones biológicas en una señal medible: óptica, electroquímica, magnética, entre otras. Los sistemas combinan las especificaciones de los elementos biológicos, con la capacidad de detección de variables físicas en diferentes áreas, como la medicina, la seguridad alimentaria y medio ambiente (Ozkan et al., 2022).

Por su parte, Bhattarai y Hameed (2020) mencionan que un biosensor es un dispositivo autónomo, que proporciona tanto información cuantitativa como semicuantitativa, mediante un elemento biológico (receptor químico) que se encuentra en contacto directo con un transductor. Los biosensores basados en tecnologías electroquímicas, ópticas, electrónicas y piezoeléctricas, usan moléculas de bioreconocimiento como enzimas, aptámeros, células, anticuerpos y ADN.

De acuerdo a Njagi y Kagwanja (2011) los biosensores tienen las siguientes características:

Tabla 3*Características de los biosensores*

Característica	Descripción
Selectividad	Es la capacidad que tiene el biosensor para la detección de un analito específico en una muestra determinada que contiene elementos contaminantes no deseados. Un claro ejemplo de selectividad es cuando interactúan un anticuerpo inmovilizado, y un antígeno altamente específico.
Repetibilidad	Es la capacidad que tiene un biosensor para reproducir resultados idénticos, independientemente de las veces que se repita el experimento. Esta característica está determinada por la precisión y exactitud del transductor y los componentes del biosensor. La confiabilidad de la salida del biosensor depende en gran medida de esta característica.
Estabilidad	Esta se refiere a la capacidad que tienen los biosensores para evitar perturbaciones generadas por el medio ambiente, y que pueden afectar y alterar la respuesta de salida en el proceso de medición. Factores como la temperatura, la afinidad del bioreceptor, la obstrucción de las membranas puede afectar la estabilidad del biosensor.
Sensibilidad	Es el límite de detección más bajo de un analito por el biosensor. Este puede variar desde nanogramos por mililitro hasta femtogramos por mililitro, en especial en dispositivos diseñados para aplicaciones de monitoreo médico y ambiental.
Linealidad	Representa la precisión de la salida dentro de un rango de trabajo, donde el analito de la muestra es directamente proporcional a la señal de medición. Por lo general, la detección de altas concentraciones de sustrato es mejor si la linealidad del sensor es más alta.

Nota. Adaptado de Njagi y Kagwanja (2011)

Componentes de un biosensor

Para ejemplificar de forma simple la estructura de un biosensor, este consta de cuatro componentes principales: i) un bioreceptor; ii) un transductor; iii) componentes

electrónicos de acondicionamiento de señal; iv) unidades de lectura y visualización (display) (Bhattarai y Hameed, 2020).

En el caso de los biorreceptores son componentes que entran en contacto directo para capturar los analitos objetivos con alta especificidad y selectividad. Entre los ejemplos de biorreceptores están enzimas, aptámetros, células, anticuerpos, ADN. Los biorreceptores catalizan reacciones químicas, mediante cambios en las señales físicas y químicas, que son reconocidas mediante variables ópticas, eléctricas, térmicas, a través de un elemento de transductor de señal (X. Wang et al., 2024).

Figura 1

Elementos de un biosensor



Nota. Adaptado de Wang et al. (2024)

Los transductores son elementos que reconocen y transforman el comportamiento del biorreceptor en una señal detectable. Esto depende del tipo de material y pueden ser orgánicos, inorgánicos, conductores, aislantes, semiconductores. Cuando se combina la señal de salida de un transductor, ésta puede rastrearse, analizarse y evaluarse. El tipo de transductor define a la clase del biosensor, por ejemplo, un transductor electroquímico (Polat et al., 2022).

Los transductores convierten las señales en interacciones bioquímicas: luz, cambios de pH, calor o masa, en señales eléctricas, las cuales son procesadas por unidades de acondicionamiento que incluyen filtros, convertidores de analógico a digital, para que la señal pueda ser leída y observada, mediante pantallas, o

impresiones, con datos numéricos en tablas o gráficas, facilitando la interpretación de los resultados (Huang et al., 2021).

Tipos de biosensores

A continuación se presenta la clasificación de los biosensores de acuerdo a Huang et al. (2021):

Tabla 4

Tipos de biosensores

Tipo	Característica
Electroquímico	Transforma los cambios bioquímicos en señales eléctricas, mediante la integración de elementos de reconocimiento biológico, tales como anticuerpos o aptámeros, mediante electrodos. Esta interacción entre el analito y biorreceptor genera una señal eléctrica medible. Los biosensores electroquímicos pueden ser: amperométricos, de impedancia, de potencial y de capacitancia. De estos, los amperométricos son los más utilizados en la detección y análisis de moléculas debido a su alta sensibilidad.
Impedimétrico	Es un sistema electroquímico que mide la impedancia (resistencia, inductancia y capacitancia), la cual aparece por las propiedades interfaciales entre el electrodo y el electrolito. Ese aplica un voltaje de corriente alterna en la superficie del electrodo y mide la dificultad de transferencia electrónica en la solución. Por lo general, la impedancia aumenta cuando hay una interacción entre el analito y el biorreceptor.
Amperométrico	Estos miden los cambios en la corriente eléctrica, como aumentos o disminuciones, producto de las reacciones de oxidación o reducción en la concentración del analito, lo que genera una respuesta de corriente. Este método depende de la voltimetría cíclica CV, para controlar las reacciones redox en los electrodos, donde la altura de los picos muestra una relación directamente proporcional a las sustancias o analito a medir dentro del electrodo.
Óptico	Se basa en las propiedades de la luz, como la absorción, refracción y fluorescencia, para la detección de los analitos. Estos tienen la ventaja de una alta velocidad, bajo costo en la detección, robustez ante las interferencias. Son usados en ambientes de monitoreo médico, seguridad

	alimentaria. Entre los biosensores ópticos se tienen los de colorimetría, fluorescentes, electroscopio de Raman, resonancia de plasma. Los sensores colorimétricos y fluorescentes son los más usados por su fácil interpretación y alta sensibilidad.
Colorimétrico	Esta es una técnica de detección cuantitativa basada en el cambio de color generada en las reacciones entre las concentraciones de analito y reactivos. El método más usado es el de colorimetría fotoeléctrica, la cual, mide la absorción de la solución estándar a diferentes concentraciones para trazar una curva estándar. Los instrumentos más utilizados son espectrofotómetro ultravioleta visible y un lector de microplacas.
Fluorescente	La espectroscopia de fluorescencia es la propiedad de las sustancias de emitir diferentes longitudes de onda, después de absorber la energía de la luz bajo irradiación UV. Presentan ventajas de alta sensibilidad y detección sin contacto, y tienen amplia aplicación en vigilancia del medio ambiente, diagnóstico médico y seguridad alimentaria.
Microfluídico	El chip microfluídico, también conocido como lab-on-a-chip, es una tecnología que utiliza canales con tamaños de decenas a cientos de micras para manipular y procesar muestras de microvolumen. En la actualidad, para la fabricación de chips microfluídicos se utilizan principalmente materiales de silicio, vidrio, cuarzo, polidimetilsiloxano (PDMS) y papel.

Nota. Adaptado de Huang et al. (2021)

Aplicaciones

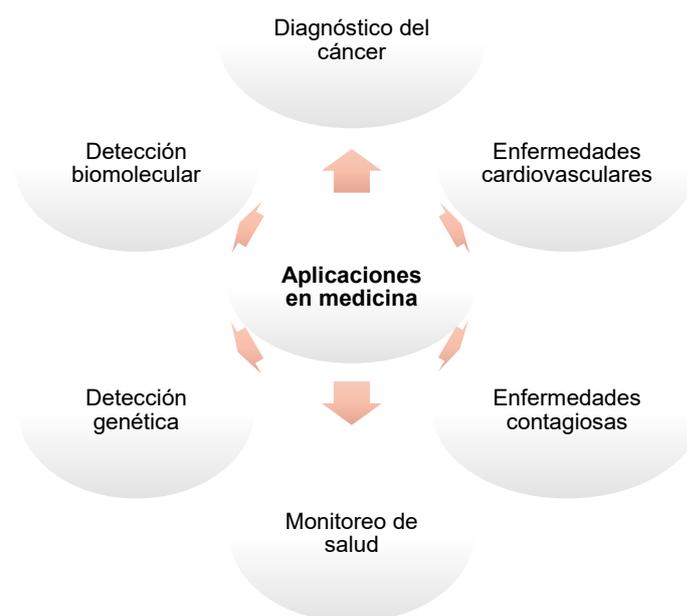
Los biosensores se utilizan en un sinnúmero de aplicaciones que van desde la gestión de residuos, monitoreo de la salud, experimentación agrícola, pruebas forenses, biológicas, calidad del agua, entre otros. Por ejemplo, los biosensores de glucosa, se utilizan de forma extendida para el monitoreo y control de la diabetes, logrando así el mantenimiento de los niveles deseados de azúcar en la sangre y a los investigadores les permite rastrear el impacto de la enfermedad, acelerando el diagnóstico y añadiendo tratamientos médicos (Ramesh et al., 2023). A continuación, se muestran más a detalles las principales aplicaciones de los biosensores.

- **Aplicaciones médicas**

Al día de hoy, el campo de la investigación médica requiere de herramientas económicas, prácticas, seguras y personalizadas, para el diagnóstico temprano y el tratamiento de enfermedades. Por ejemplo, los biomarcadores para el cáncer, permiten detectar el crecimiento de células tumorales. Entre otras aplicaciones, los biosensores también se utilizan para el análisis de interacciones entre fármacos y biomoléculas como ADN, HSA y BSA (51-54), permitiendo ampliar el desarrollo de los estudios en fármacos y de dosificación. Así también, los biosensores in vitro, que mediante el uso de sangre, orina o tejidos tumorales permiten el diagnóstico de marcadores en moléculas pequeñas, enzimas, proteínas y células cancerosas vivas siendo este un método rápido, simple y sensible (Ozkan et al., 2022). En la actualidad el uso de biosensores se encuentra en más del 80% de los dispositivos utilizados en el diagnóstico clínico (Inshyna et al., 2020).

Figura 2

Aplicaciones de biosensores en la medicina



Nota. Adaptado de Inshyna et al. (2020)

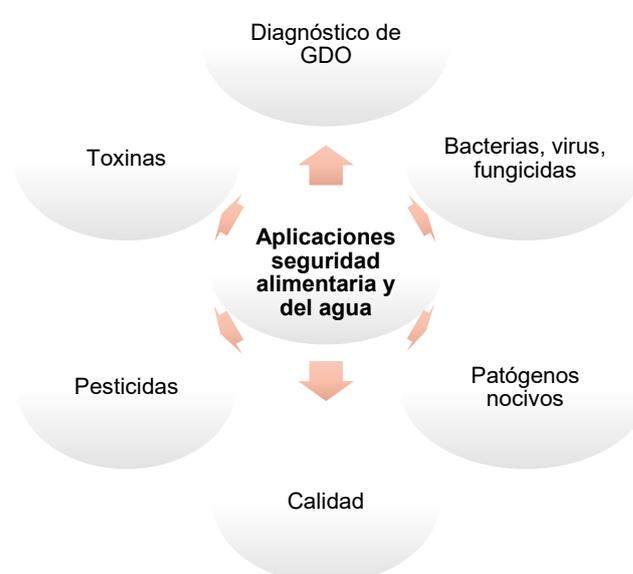
- **Aplicaciones en seguridad alimentaria y del agua**

Los biosensores se han convertido en una importante herramienta para la salud pública, debido a su respuesta en tiempo real y de relativo bajo costo para el monitoreo del agua y alimentos. En la industria alimentaria, los biosensores se utilizan para determinar la composición de los productos alimenticios y controlar los procesos de fermentación, para la detección de glicerol, fenoles, ácidos orgánicos (láctico, málico, acético) y vitamina C (Inshyna et al., 2020).

Usando varios elementos de reconocimiento, los biosensores pueden determinar de forma cualitativa y cuantitativa la demanda bioquímica de oxígeno, presencia de metales pesados, sustancias tóxicas y contaminantes específicos en las fuentes de agua, mediante señales eléctricas, ópticas, termométricas o de masa. Por ejemplo, Costa et al. (2021) utilizó un electrodo de oro modificado con nanotubos de carbono y carboxilo para la producción de una plataforma para la inmunodetección efectiva de la Aflatoxina B1 (AfB1) en harina de maíz, utilizando técnicas de voltametría cíclica.

Figura 3

Aplicaciones de biosensores en la seguridad alimentaria



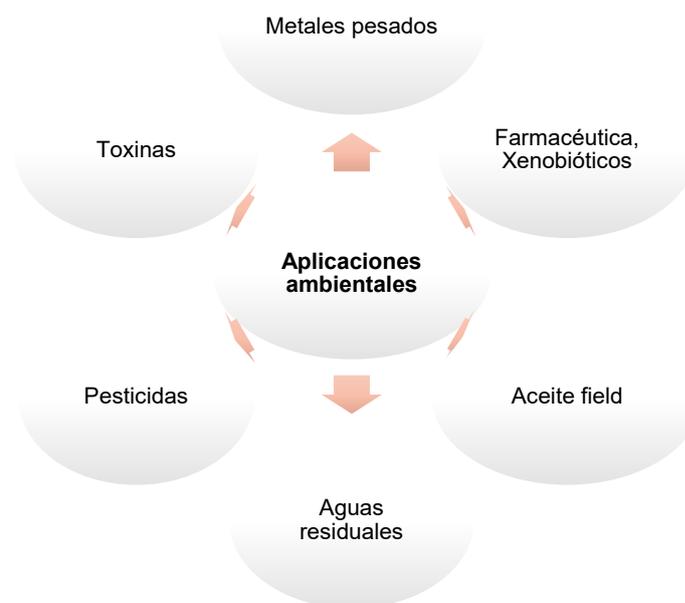
Nota. Adaptado de Inshyna et al. (2020)

- **Aplicaciones ambientales**

Al medio ambiente se liberan contaminantes como pesticidas, toxinas, metales pesados y xenobióticos farmacéuticos. Biosensores electroquímicos de ácidos nucleicos y apta sensores pueden detectar en los ecosistemas: esteroides, insecticidas, elementos pesados, antibióticos, con una alta sensibilidad, selectividad, mediante el uso reducido de muestras.

Figura 4

Aplicaciones de biosensores en el medio ambiente



Nota. Adaptado de Inshyna et al. (2020)

Por ejemplo, en el caso de las fuentes de agua terrestre y subterráneas, Khosropour et al. (2024) desarrollaron un aptasensor electroquímico para la detección de diazinón (DZN), que es un compuesto organofosforado, el cual fue modificado en un electrodo de carbono vítreo (GCE) y preparado con puntos cuánticos de disulfuro de vanadio. Por su parte, Mei et al. (2022) desarrollaron un sensor altamente sensible para la detección de mercurio en base a una sonda de ARN fosforotioato escindible.

Por otra parte, también existen biosensores basados en la dispersión Raman mejorada por superficie SERS en aplicaciones ambientales. También en los últimos años se han desarrollado biosensores basados en biopelículas electroactivas (EAB) para la detección ambiental incluidos compuestos aromáticos, para el tratamiento de aguas residuales, o la industria petrolera (J. Zhu et al., 2023).

2.2.2 Patógenos

Un patógeno es un organismo que puede superar los mecanismos de defensa del cuerpo e inducir cambios deletéreos en el huésped. Contra el patógeno potencial se despliegan una serie de sistemas que, o bien confinan a los microorganismos en las superficies mucosas y cutáneas, impidiendo su acceso a los tejidos del cuerpo, o bien, si el organismo elude estas defensas externas, existen sistemas que detectan, confinan y eliminan al invasor. A grandes rasgos, estos sistemas se dividen en el sistema inmunitario innato, antiguo desde el punto de vista evolutivo, codificado en la línea germinal, inespecífico y de respuesta rápida, y el sistema inmunitario adquirido, de desarrollo más lento y selectivo (Basset et al., 2003).

Para Derrick (2022) patógeno es un organismo que tiene el potencial de causar enfermedades infecciosas. Estos son capaces de evitar las respuestas inmunitarias, lo que da lugar a enfermedades asociadas. Por lo que, el patógeno utiliza los recursos del cuerpo del huésped para replicarse antes de emerger y propagarse a un nuevo huésped (por ejemplo un virus). Estos organismos pueden propagarse de diferentes maneras, normalmente por contacto con la piel, fluidos corporales, o en forma de partículas transportadas por el aire.

Clasificación

De acuerdo a Balloux y van Dorp (2017) los patógenos en general se pueden dividir en dos categorías: patógenos facultativos, y patógenos obligados.

- Patógenos facultativos: son aquellos organismos para los cuales el huésped es solo uno de los lugares que puede hacer uso para su reproducción. En general este tipo de patógenos son bacterias y hongos ambientales, que en ocasiones pueden generar infecciones. Es importante distinguir que los patógenos facultativos son diferentes a los patógenos accidentales, donde estos últimos solo infectan de forma ocasional a huéspedes con un sistema inmunológico débil y comprometido, por ejemplo, *Neisseria meningitidis* o *Escherichia coli*.
- Patógenos obligados: estos requieren un huésped para completar su ciclo de vida. Por ejemplo, todos los virus son patógenos obligados, ya que, dependen de todo el sistema celular del huésped para su reproducción. Estos también se encuentran entre bacterias, como las causantes de tuberculosis y sífilis, como entre protozoos (causantes de la malaria) y los macro parásitos. Algunos patógenos obligados necesitan múltiples huéspedes para completar su ciclo de vida; el huésped definitivo, alberga a la forma adulta, que puede ser un vertebrado, mientras que el huésped intermediario (vector) generalmente es un artrópodo o molusco.

A continuación se presenta una clasificación de organismos patógenos de acuerdo a Derrick (2022).

Tabla 5*Tipos de patógenos*

Tipo	Descripción
Bacterias	<p>Son microorganismos procariotas que se encuentran prácticamente en todos los ambientes. Aunque muchas bacterias son beneficiosas, algunas causan enfermedades en plantas y animales al producir toxinas o desencadenar fuertes respuestas inmunitarias que dañan las células del huésped. Sus dimensiones varían entre 0.15 μm y 700 μm.</p> <p>Según su forma, se clasifican en bacilos (forma de bastón), cocos (esféricos), espirilos (en espiral) y vibrios (forma de coma). Pueden ser autótrofos o heterótrofos.</p>
Virus	<p>Los virus no se consideran organismos vivos, ya que solo pueden replicarse dentro de un huésped. Contienen ADN o ARN como genoma, encerrado en una cápside proteica. Sus dimensiones van desde 20 nm hasta 300 nm. Muchos virus tienen una envoltura externa compuesta de lípidos.</p>
Protozoos	<p>Los protozoos son eucariotas unicelulares que carecen de pared celular, similar a los animales y a menudo se les llama "animales unicelulares". Son heterótrofos y pueden vivir libremente o como parásitos, causando diversas enfermedades en humanos. Poseen órganos de movimiento como flagelos, pseudópodos y cilios.</p>
Helmintos	<p>Los helmintos son organismos multicelulares conocidos como parásitos, como los gusanos redondos, gusanos planos y tenias. Son visibles a simple vista y viven dentro del cuerpo del huésped (por ejemplo, en el tracto gastrointestinal o el sistema linfático), donde obtienen nutrientes y refugio mientras evaden el sistema inmunológico del huésped durante años.</p>
Hongos	<p>Los hongos son organismos eucariotas heterótrofos que incluyen saprófitos (que absorben materia orgánica de sustratos muertos) y parásitos (que obtienen nutrientes de plantas y animales vivos). Tienen una pared celular hecha de quitina y otros polisacáridos y se reproducen tanto sexual como asexualmente mediante esporas vegetativas.</p>

Nota. Adaptado de Derrick (2022)

Patógenos en alimentos

Los patógenos transmitidos por alimentos (como virus, bacterias o parásitos), generan enfermedades, donde el agente se establece (y por lo general se multiplica) en el huésped humano, o en el caso de un patógeno toxigénico produce una toxina en el alimento que luego es ingerida. Por lo tanto, las enfermedades transmitidas por agentes patógenos se pueden clasificar como: a) enfermedad transmitida por el alimento; b) intoxicación transmitida por el alimento. En el primer caso, dado que existe un periodo de incubación involucrado, el tiempo de aparición de los síntomas es más largo, que en el caso de las intoxicaciones (Bintsis, 2017).

La contaminación de alimentos con agentes patógenos y su multiplicación no controlada, representa la principal causa de enfermedades alimentarias. En la mayoría de casos son la consecuencia de fallas en la obtención, transformación y preparación de los alimentos (Fernández et al., 2021).

El proceso comienza cuando el humano ingiere el patógeno en alimentos o agua contaminadas, el cual eventualmente penetra en las células del huésped en cantidades suficientes para dañarlas. Una vez dentro de la célula huésped, el patógeno sobrevive en el entorno, se multiplica y se propaga rápidamente. Posteriormente, coloniza el intestino utilizando factores adhesivos e invasivos, y quimiotaxis respectivamente. Varios factores, como cápsulas y formación de biopelículas, protegen a los microbios para sobrevivir en entornos hostiles; las enzimas y toxinas bacterianas también los protegen de la erradicación por parte del sistema inmunológico del huésped (Moi et al., 2022).

A continuación, se presenta una tabla que resume a diversas enfermedades transmitidas por patógenos.

Tabla 6*Enfermedades alimentarias causadas por patógenos*

Enfermedad	Patógeno	Vía de transmisión y alimentos asociados	Manifestaciones Clínicas
Cólera	<i>Vibrio cholerae</i>	Vía fecal-oral a través de vegetales, mariscos, arroz y frijoles	Vómitos, diarrea acuosa, deshidratación, pérdida de apetito, fiebre, debilidad corporal, dolor de cabeza, malestar general.
Enteritis	<i>Clostridium perfringens</i>	Ingestión de carne de res y aves	Vómitos, dolores abdominales, fiebre, mareos, diarrea putrefacta.
Botulismo	<i>Clostridium botulinum</i>	Ingestión de alimentos con toxina preformada como vegetales, pimienta, carne, pescado y papas horneadas	Diarrea, fiebre, vómitos, alteraciones visuales, debilidad muscular, mareos, estreñimiento, fatiga, boca seca, fallo respiratorio, paro cardíaco, parálisis, vértigo.
Listeriosis	<i>Listeria monocytogenes</i>	Ingestión de alimentos como leche cruda, quesos blandos, pastas de carne, lengua de cerdo en gelatina, vegetales crudos y ensalada de col	Molestias gastrointestinales, fiebre, dolor de cabeza, artralgia, malestar general, escalofríos, inflamación de ganglios linfáticos.
Gastroenteritis	<i>Bacillus cereus</i>	Ingestión de alimentos contaminados como leche y aves crudas o mal cocidas	Diarrea, náuseas, dolor abdominal, vómitos.
Infección por <i>E. coli</i>	<i>Escherichia coli</i>	Consumo de alimentos y agua contaminados con materia fecal. Alimentos involucrados incluyen vegetales, leche cruda, carne molida.	Vómitos, diarrea (con sangre, moco), náuseas, fiebre, calambres abdominales.
Intoxicación	<i>Staphylococcus aureus</i>	Consumo de alimentos que contienen la toxina. Ejemplos incluyen carne, arroz, leche cruda, estofados.	Náuseas, vómitos, diarrea, postración, estreñimiento, arcadas, malestar abdominal.
Fiebre tifoidea y paratifoidea	<i>Salmonella typhi</i> y <i>paratyphi</i>	Transmisión por ingestión de alimentos y agua contaminados con materia fecal como leche cruda, carne, mariscos, ensaladas.	Fiebre excesiva, vómitos, dolor de cabeza, dolores abdominales, estreñimiento, diarrea, psicosis en algunos casos, escalofríos, manchas rosadas, tos.

Yersiniosis	<i>Yersinia enterocolitica</i>	Transmitida por consumo de productos de cerdo (lengua, amígdalas, intestinos), curados o no, así como leche y derivados lácteos.	Diarrea, vómitos, fiebre, calambres abdominales.
Shigelosis (disentería bacilar)	<i>Shigella dysenteriae</i>	Ingestión de alimentos y agua contaminados con materia fecal como ensaladas y vegetales; agua, leche cruda.	Diarrea con sangre, pus y moco, malestar abdominal, fiebre, vómitos.
Hepatitis A	<i>Virus de la Hepatitis A</i>	Transmitido fecal-oralmente en alimentos y agua potable como mariscos, frutas y vegetales crudos, productos de panadería.	Náuseas, pérdida de apetito, fiebre, vómitos, inflamación del hígado, ictericia, orina oscura.
Gastroenteritis viral	<i>Norovirus (Virus Norwalk)</i>	Transmisión fecal-oral en agua potable y alimentos. Ej. mariscos o agua contaminada con aguas residuales.	Diarrea, fiebre, vómitos, dolor abdominal, deshidratación.
Gripe aviar	<i>Virus de la gripe aviar</i>	Transmisión fecal-oral en alimentos y agua potable	Fiebre, dolor de cabeza, tos, gripe, vómitos, diarrea.
Gastroenteritis viral	<i>Rotavirus</i> o <i>Adenovirus</i>	Transmitido fecal-oralmente a través de alimentos y agua contaminados.	Diarrea acuosa, vómitos, fiebre, calambres estomacales.
Amebiasis (disentería amebiana)	<i>Entamoeba histolytica</i>	Ingestión de alimentos y agua contaminados fecalmente que contienen quistes amebianos. Alimentos involucrados incluyen frutas, vegetales y agua potable.	Diarrea, vómitos, deshidratación, fiebre, dolor de cabeza, mareos, insomnio, úlceras, somnolencia, pérdida de peso, gastroenteritis.
Toxoplasmosis	<i>Toxoplasma gondii</i>	Transmitido al consumir vegetales que contienen el parásito.	Fiebre, dolor de cabeza, mialgia, erupciones cutáneas.
Teniasis	<i>Taenia saginata, Taenia solium</i>	Transmitido al comer frutas, vegetales, carne de cerdo o res contaminados con el patógeno.	Vómitos, diarrea, insomnio, anorexia, pérdida de peso, nerviosismo, gastroenteritis.
Ascariasis	<i>Ascaris lumbricoides</i>	Ingestión de huevos infectivos de suelo contaminado con heces o	Vómitos, excreción de gusanos vivos en las heces,

		de vegetales y agua contaminados.	indigestión, molestias gastrointestinales.
Aflatoxicosis aguda	<i>Aspergillus flavus</i>	Ingestión de aflatoxina en alimentos contaminados como leche, cereales, semillas oleaginosas, especias y frutos secos.	Náuseas, vómitos, dolor abdominal, convulsiones, hepatotoxicidad, inmunotoxicidad y teratogenicidad.
Ocratoxicosis	<i>Aspergillus ochraceus</i>	Ingestión de alimentos y agua contaminados con ocratoxina A (OTA). Alimentos comunes asociados, incluyen vino, cerveza, café, frutas secas, jugos de uva, cerdo, aves, lácteos, especias y chocolate.	Pérdida de conciencia, fiebre, convulsiones, inflamación del hígado, diarrea.
Ergotismo	<i>Claviceps purpurea</i>	Transmitido al comer centeno contaminado o por ingestión oral de ergotamina.	Dolor en las pantorrillas, pie hinchado, diarrea leve.

Nota. Adaptado de Moi et al. (2022).

2.2.3 Seguridad alimentaria

La seguridad alimentaria se ha convertido en una de las mayores preocupaciones para la población mundial. Anualmente millones de personas sufren de enfermedades debidas al consumo de alimentos inseguros. En la actualidad existe una creciente tendencia de alargar la vida útil de los productos, así como de alimentos procesados y listos para su consumo, lo que agrava e incrementa el riesgo de padecer alguna enfermedad (Nazir et al., 2023). En efecto, el deterioro, mal manejo de los alimentos en todo su proceso, pueden generar la producción de toxinas y patógenos que afectan a la salud de los consumidores (Istif et al., 2023).

La seguridad alimentaria como concepto está asociada a la protección de los consumidores, ante el riesgo de contraer enfermedades transmitidas por alimentos y contaminantes nocivos, como bacterias, virus, pesticidas y metales pesados. Esto implica aplicar prácticas de monitoreo y gestión en toda la cadena de suministro para minimizar riesgos. Esto contribuye tanto a la calidad de los alimentos (garantizar

sabor, textura, apariencia y valor nutricional) y a la disponibilidad de alimentos (asegurar que los alimentos sean accesibles, y seguros para el consumo) (Dhal y Kar, 2025).

Los brotes de enfermedades relacionadas con los alimentos, además de generar problemas a los consumidores, generan problemas a los productores y fabricantes, que deben retirar grandes lotes de alimentos de circulación. Además, se genera una caída en la intención de compra, daños a la reputación de la marca, y conflictos legales. Estos impactos, son más notorios por la difusión de los medios de comunicación, generando enormes pérdidas para la industria alimentaria en general, las cuales, requieren y aplican de forma frecuente pruebas de detección temprana (Cohen-Hakmon et al., 2024).

No obstante, uno de los problemas de la seguridad alimentaria se debe a que los sistemas de detección de alguna manera son reactivos, ya que identifican los peligros solo cuando estos ya se han manifestado, poniendo en riesgo a la población. Por lo que, en la actualidad se han desarrollado sistemas proactivos, como la minería de textos en redes sociales y ontológicas, así como modelos predictivos con el uso de redes neuronales, máquinas de soporte vectorial y de aprendizaje no supervisado para detectar patrones anormales o señales de eventos inusuales y así prevenir futuros problemas (Liu et al., 2022).

Sistemas de detección temprana

No existe una definición o criterios unificados para los sistemas de alerta y respuesta temprana para la seguridad alimentaria, pero de acuerdo a la FAO (2023) se pueden distinguir tres categorías, como se muestra a continuación.

Tabla 7*Tipos de sistemas de detección temprana para alimentos*

Categoría	Descripción
Sistemas predictivos basados en riesgos	Se basan en el conocimiento existente sobre los riesgos, por ejemplo, la formación de micotoxinas en cultivos, en base a información agrícola o meteorológica. Estos sistemas toman en cuenta diferentes factores asociados a la exposición, la vulnerabilidad y la capacidad de respuesta.
Sistemas centrados en peligros para la seguridad alimentaria.	Tienen como objetivo identificar los peligros en alimentos, como la presencia de patógenos microbiológicos, contaminantes químicos y alérgenos. Estos sistemas operan con centros de alerta temprana en diferentes partes del mundo.
Sistemas centrados en enfermedades transmitidas por alimentos.	Detectan las anomalías registradas en los informes de incidencias en la salud pública relacionados con enfermedades o intoxicaciones alimentarias. Se centran en casos donde el incidente ya ocurrió, pero con el objetivo de prevenir más casos y su propagación.

Nota. Adaptado de FAO (2023)

En relación con métodos específicos para la detección temprana en laboratorios, incluyen los ensayos de inmuno absorción ligado a enzimas (ELIZA), la cromatografía líquida de alta eficacia (HPLC), la espectrometría de masas (MS) y la cromatografía de gases (GC), que si bien, son efectivos, son costosos y sus resultados requieren de tiempo y personal calificado para interpretar los resultados. Esto refleja la necesidad continua de encontrar tecnologías sensibles y confiables para la detección y monitoreo en el campo de los contaminantes alimentarios, como puede ser el caso de los biosensores (Liang et al., 2022).

Biosensores en la seguridad alimentaria

Los biosensores se han considerado dispositivos adecuados para el monitoreo de contaminantes en alimentos. Estos utilizan sensores químicos, para el reconocimiento biológico y detección de analitos. Entre los componentes que integran

estos sensores están enzimas, ADN, ARN, antígenos, células vivas o anticuerpos, que se integran a elementos electrónicos que detectan la conductancia, intensidad, fases de radiación electromagnética, corriente eléctrica, masa, viscosidad, potencial eléctrico, temperatura, impedancia, y así presentar resultados rápidos, que son necesarios en la seguridad alimentaria (Inês y Cosme, 2025).

La próxima generación de biosensores está incorporando algoritmos de inteligencia artificial (IA), lo cual, ha ayudado a mejorar la especialización, selectividad y capacidad de respuesta con consistencia, al proporcionar soluciones personalizadas mediante el aprendizaje automático. Al integrar estas características en biosensores no invasivos, es posible lograr un monitoreo de la seguridad alimentaria, con un enfoque en la estabilidad de las moléculas de bioreconocimiento. Además, el uso de la IA puede ayudar a monitorear múltiples analitos en matrices alimentarias complejas, aumentando su funcionalidad y versatilidad (Hassan et al., 2025).

Ventajas y desventajas de los biosensores en la seguridad alimentaria

De acuerdo a Nath (2024) entre las principales ventajas que tienen los biosensores dentro de la seguridad alimentaria están:

- Detección rápida, monitoreo en tiempo real (o en poco tiempo), lo que permite una intervención oportuna.
- Alta sensibilidad y especificidad para la detección de contaminantes en bajas concentraciones de las muestras, gracias al uso de elementos biológicos, tales como enzimas, anticuerpos, aptámeros.
- Rentabilidad y economía en relación con los métodos tradicionales (HPLC, ELISA, entre otros), ayudando a reducir los costos en la cadena de suministro alimentaria.

- Portabilidad para su uso en el campo, no requiere de equipamiento complejo ni personal con alta especialización.
- Buena versatilidad para la detección de diferentes tipos de contaminantes, como: metales pesados, pesticidas, alérgenos, micotoxinas o patógenos.
- Uso de nanomateriales, que permiten mejorar la sensibilidad, estabilidad y eficacia en la medición del biosensor.
- Integración con tecnologías como la inteligencia artificial, que ayuda a la optimización del análisis de datos, y el tratamiento y detección de patrones complejos

No obstante, los biosensores también presentan algunas limitaciones y problemas al momento de ser utilizados para la seguridad alimentaria como lo menciona Hassan et al. (2025):

- Baja sensibilidad de algunos sensores para detectar contaminantes que se encuentren en concentraciones muy bajas.
- Interferencias con matrices alimentarias complejas, donde los componentes alimentarios pueden afectar la respuesta del sensor y por lo tanto su precisión y confiabilidad.
- El uso de enzimas y anticuerpos en los biosensores limita su uso, ya que, estos pueden degradarse.
- Necesitan una calibración acorde a protocolos estrictos de estandarización, para garantizar la confiabilidad de la lectura. Esto implica procesos de aprobación de normativa que retrasa su aplicación en las industrias alimentarias.

- Para su integración con nuevas tecnologías como la IA, son necesarios grandes cantidades y diversidad de datos que ayuden al entrenamiento de los algoritmos y generen respuestas adecuadas.

2.2.4 Bibliometría

La palabra bibliometría se deriva de los vocablos griegos “Biblos” libro y “metro” medir. Por lo que, es la aplicación de herramientas matemáticas y estadísticas en la publicación de resultados en la investigación científica, es decir, es la aplicación de técnicas cuantitativas para medir diferentes características de las actividades científicas (Matos- Uribe et al., 2023).

Para Jing et al. (2021) el análisis bibliométrico son los métodos matemáticos y estadísticos para analizar libros y artículos. En los últimos años han proliferado los estudios e investigaciones que aplican el análisis bibliométrico para examinar y predecir las tendencias en diferentes campos de la ciencia e investigación, mediante el uso de estadísticas descriptivas y de redes.

Es importante mencionar que al igual que los análisis bibliométricos, existen estudios de metaanálisis y revisiones sistemáticas. En el primer caso se manejan grandes volúmenes de la literatura y proporciona un resumen de un determinado campo de la investigación, no obstante, se pueden generar observaciones menos diversas con posibles sesgos en los resultados. En contraste, las revisiones sistemáticas tienen un alcance más limitado, por lo que incluyen una menor cantidad de estudios hacia áreas de investigación acotadas, y pueden ser evaluados de forma cualitativa, lo cual puede generar también sesgos (Donthu, Kumar, et al., 2021).

Las cifras o datos que se generan del estudio bibliométrico pueden ser absolutos, que dependen del tamaño de la población de producción científica y relativas que son independientes a esta población. Entre las cifras absolutas se

incluyen al número de publicaciones, el número de citas recibidas, número de patentes, entre otras. Por lo general, las cifras relativas son las más utilizadas, como por ejemplo, promedio del número de citas recibidas durante un periodo de tiempo, o el número de publicaciones por habitante o científico en un país (Rousseau & Rousseau, 2021).

Los análisis bibliométricos en general se pueden dividir en dos categorías: 1) análisis de desempeño; y ii) mapeo científico. El primero evalúa los componentes propios de cada investigación, mientras que el mapeo se basa en las relaciones entre dichos componentes (Donthu, Kumar, et al., 2021).

Análisis de desempeño bibliométrico

Como lo menciona Donthu, Reinartz, et al. (2021) en este tipo de análisis se examinan los componentes de la investigación, desde un punto de vista de naturaleza descriptiva. Aparece en la mayoría de las revisiones bibliométricas, incluso en aquellas que no han realizado un mapeo con rigor científico, ya que, es una práctica estándar para presentar características como autores, instituciones, países, revistas, de una forma analítica. Existe un sinnúmero de medidas de desempeño, pero entre las más importantes se tienen:

Tabla 8

Principales métricas de desempeño bibliométrico

Métrica	Abreviatura	Descripción
Total de publicaciones	TP	Número total de publicaciones del componente de investigación (autor/institución/país)
Total de citas	TC	Número total de citas recibidas por el componente
h-index	h	Número h de publicaciones citadas al menos h veces (medida de influencia)
Promedio de citas	AC	Citas promedio por publicación o por año

Publicaciones citadas	NCP	Cantidad de publicaciones del componente que han recibido al menos 1 cita
Índice de colaboración	CI	$(\text{Número de autores colaboradores} \div \text{TP}) \div \text{TP}$ (grado de colaboración)
Publicaciones academia-industria	TP-AI	Publicaciones resultantes de colaboración entre academia e industria
Años activos de publicación	NAY	Número de años en que el componente registró al menos 1 publicación
Productividad anual	PAY	TP / NAY (publicaciones por año activo)
g-index	g	Número g de publicaciones que recibieron al menos g ² citas (impacto)

Nota. Adaptado de Donthu, Reinartz, et al. (2021)

Análisis bibliométrico por mapeo científico

En el caso del mapeo científico, éste examina las relaciones entre los diferentes componentes o características de las investigaciones. Son las interacciones intelectuales y conexiones estructurales (Baker et al., 2021), donde se incluyen las siguientes técnicas:

Tabla 9

Principales métricas de mapeo científico

Técnica	Uso	Unidad de análisis	Requisitos de datos
Análisis de citas	Analizar relaciones entre publicaciones identificando las más influyentes en un campo de investigación.	Documentos	Nombre del autor Citas Título Revistas DOI Referencias
Análisis de co-citas	Analizar relaciones entre publicaciones citadas para entender el desarrollo de temas fundamentales.	Documentos	Referencias
Acoplamiento bibliográfico	Analizar relaciones entre publicaciones citantes para	Documentos	Nombre del autor Título

	entender desarrollos temáticos periódicos o actuales.			Revistas DOI Referencias
Análisis de co-palabras	Explorar relaciones existentes o futuras entre temas, enfocándose en el contenido escrito de las publicaciones.	Palabras		Título Resumen Palabras clave del autor Palabras clave de índice Texto completo
Análisis de co-autoría	Examinar interacciones sociales o relaciones entre autores y sus afiliaciones, e impactos equivalentes en el desarrollo del campo.	Autores Afiliaciones		Autor Afiliación (institución y país)

Nota. Adaptado de Donthu, Reinartz, et al. (2021)

2.2.5 Declaración PRISMA

La declaración PRISMA por sus siglas en inglés (*Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses*), que fue originalmente publicada en el año 2009, es una herramienta de ayuda para autores y revisiones sistemáticas y bibliométricas, para documentar de forma clara los hallazgos generados. Es una guía de recomendaciones, las cuales han sido aprobadas y adoptadas a nivel mundial en múltiples revistas científicas y organizaciones de investigación (Page et al., 2021).

Al año 2020 se realizó una actualización de la declaración la cual consta de una lista de comprobación (ver anexo 1) y un diagrama de flujo (ver anexo 2). Estos son aplicables a revisiones sistemáticas que incluyen síntesis, metaanálisis por pares y métodos de análisis con estadística descriptiva, o simplemente no incluyen la síntesis, ya que, solo identifican el estudio elegible (PRISMA, 2025).

La declaración PRISMA 2020 no pretende ser una guía específica o única para el desarrollo de revisiones sistemáticas, pero sus recomendaciones son útiles tanto para la planificación, como para el aseguramiento de la recopilación de la información

completa. De igual manera, PRISMA no debe ser utilizado para evaluar la calidad de las investigaciones sean desde su aporte metodológico o teórico. Así también, la declaración no debe aplicarse a síntesis de meta-análisis en red o revisiones de alcance, para lo cual, se deben combinar las recomendaciones con otras metodologías específicas (Page et al., 2021).

CAPÍTULO III: Diseño Metodológico

3.1. Tipo y diseño de investigación

El presente trabajo relacionado con el desarrollo de un estudio bibliométrico aplicó un diseño de investigación no experimental, que de acuerdo a Ponce et al. (2018) no implica una manipulación de las variables, y en su lugar solo se analiza la información ya existente. Para el análisis bibliométrico sobre la aplicación de biosensores para la detección de patógenos en los alimentos, solo se analizaron el número de publicaciones, sus autores, la distribución geográfica o por instituciones, las colaboraciones y las correferencias clasificadas por los 4 grupos o clústeres temáticos.

El enfoque de la investigación es cuantitativo, ya que, recopila información de las bases de datos para ser analizada de forma estadística, es decir, que las magnitudes o variables son cuantificables o medidas numéricamente (Moreno et al., 2022). En efecto, para el análisis se utilizaron medidas bibliométricas, como el número de publicaciones divididas por autores, temáticas por la recurrencia de sus palabras clave, países, instituciones, colaboraciones, números de citas para cuantificar su impacto, entre otras.

El tipo de investigación fue exploratoria y descriptiva, que implicó la descripción y caracterización de las variables de estudio; en este caso mediante el análisis bibliométrico, poder mostrar el crecimiento del volumen de la producción científica sobre el uso de biosensores para detectar patógenos en alimentos y poder conocer los autores, instituciones, países, temáticas, a través del tiempo.

3.2. La población y la muestra

Para el análisis bibliométrico de la producción científica del uso de biosensores para la detección de microorganismos patógenos, la población está conformada por todos los documentos científicos y académicos publicados a nivel mundial sobre la temática propuesta. Toda esta producción de artículos de revistas de alto impacto se encuentra indexados en bases de datos reconocidas a nivel científico e investigativo, por el alcance del presente estudio, solo se ha tomado en cuenta a Scopus como fuente principal de la información.

Como la producción científica es amplia, se realizó un muestreo a partir de la población, donde se utilizarán criterios de inclusión y exclusión, como se muestran a continuación.

Tabla 10

Criterios de inclusión

Criterio	Descripción
Base de datos	Scopus.
Periodo de tiempo	Indefinido
Tipo de documento	Artículos científicos, capítulos de libros y publicaciones de conferencias o congresos
Idioma	Español e inglés
Campos de búsqueda	Títulos, resúmenes y palabras clave.
Temáticas	Biosensores Detección de patógenos Alimentos Microorganismos Bacterias Hongos
Accesibilidad	Documentos con acceso a su resumen para su revisión y análisis.

Tabla 11 *Criterios de exclusión*

Criterio	Descripción
Idioma	Excluir idiomas que no sean español o inglés
Tipo de documento	Editoriales, notas breves, o cartas editoriales
Aplicaciones en otros campos	Aplicaciones de biosensores diferentes a la detección de patógenos en alimentos.
Duplicidad	Artículos publicados en dos o más revistas.
Sin acceso	Documentos cuyo texto completo, como mínimo su resumen o abstract, no esté disponible.

A partir de los criterios mencionados para la selección de los documentos a procesar se aplicó la siguiente ecuación de búsqueda dentro de SCOPUS:

TITLE-ABS-KEY (biosensor AND food AND detection AND pathogenic AND ("microbial" OR "microorganism" OR "bacteria" OR "fungi" OR "microbiota") AND pathogenic).

Los resultados encontrados fueron 506 documentos asociados al uso de biosensores para la detección de patógenos en alimentos, lo que constituye el tamaño de la población para el análisis bibliométrico en esta investigación.

No obstante, para garantizar la calidad y relevancia del análisis solo se analizaron aquellos artículos que pertenecen a publicaciones dentro de la categoría del cuartil Q1, en vista de que son las de mayor impacto en el campo científico. Mediante herramientas como el Biblioshiny se procedió a la clasificación de la muestra de los 506 documentos obtenidos, teniendo los siguientes resultados.

Tabla 12

Clasificación de los documentos por cuartiles

Cuartil/categoría	N. documentos
Q1	269
Q2	59
Q3	24
Q4	23

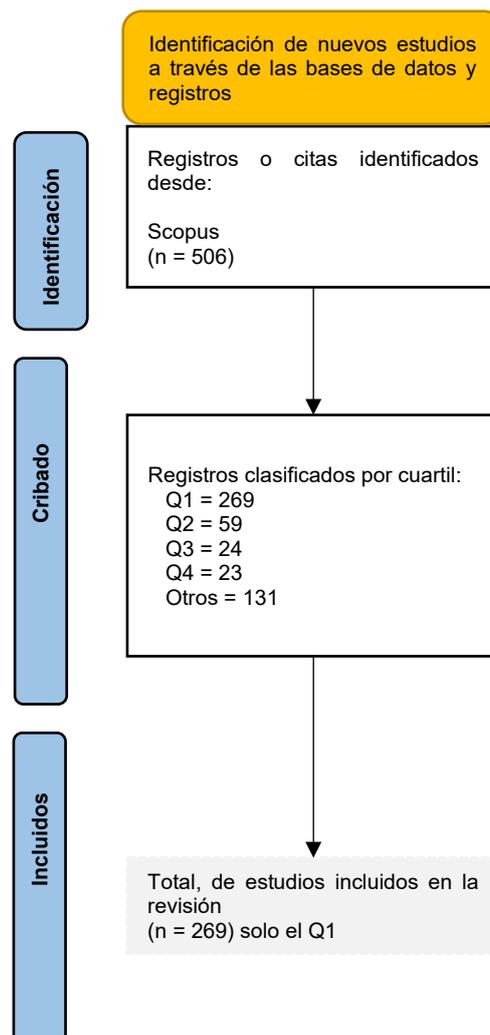
uScopus	19
Sin revista	112
Total	506

Con base en lo expuesto, se observa que el número de artículos del cuartil Q1 fue de 269, los que se procesaron en su totalidad para la obtención de métricas bibliométricas, sobre autores, citas, instituciones, tendencias, entre otras características, lo que constituye el objeto de esta investigación.

A continuación, se muestra el flujograma PRISMA adaptado para realización de la selección de los estudios.

Figura 5

Flujograma adaptado del modelo PRISMA



3.3. Los métodos y las técnicas

El método aplicado contiene los pasos del análisis bibliométrico que implica la recolección de la producción científica y documental de la base de datos para identificar jerarquías de conceptos, redes de colaboración y la polarización de temáticas (Alhuay-Quispe et al., 2022). Como se mencionó en el apartado anterior, mediante la ecuación de búsqueda en Scopus se obtuvieron como resultado 506 documentos asociados con el tema de biosensores y la detección de patógenos en alimentos. Toda esta información y los metadatos generados fueron exportados en el formato BibTex para su utilización en las herramientas estadísticas respectivas.

Los archivos BibTex generados fueron cargados tanto en el gestor bibliográfico Zotero, así como en el programa Bibliometrix de R estudio, el cual tiene su interfaz gráfica denominada Biblioshiny, y es en este último donde se pueden visualizar las métricas bibliométricas para la muestra seleccionada de producción científica del cuartil Q1, así como también permite analizar redes de coautorías, mapas de coocurrencias, que ayudan a identificar las tendencias y patrones sobre el tema investigado.

Para garantizar el cumplimiento de los objetivos y la idoneidad del estudio bibliométrico se hizo uso del método PRISMA, para lo cual, se debe cumplir con las actividades de la lista de verificación, así como el diseño del diagrama de flujo mediante el cual se detallaron las diferentes etapas desde la identificación de los documentos, el cribado (aplicación de criterios de inclusión y exclusión), la elegibilidad de acuerdo a su relevancia y calidad, en este caso el cuartil Q1.

En relación con la selección de los cuatro clústeres de las principales temáticas, su análisis representa campos de mayor relevancia y tendencias dentro del estudio de los biosensores aplicados en la detección de microorganismos en

alimentos. Estos clústeres ayudaron a la identificación y selección de los artículos más relevantes para su análisis y así poder explorar diferentes elementos de análisis como tecnologías, aplicaciones y tendencias hacia futuras investigaciones.

El corpus de 269 documentos del cuartil Q1 que fueron procesados totalmente, se clasificaron por clústeres, basado en la aplicación de técnicas de agrupamientos de documentos en función de las coocurrencias de términos, tales como: palabras clave del autor, palabras clave indexadas por la base de datos, títulos de los artículos, y resúmenes. Con la ayuda de Biblioshiny se identificaron aquellos cuatro grupos que tenían mayor número de coocurrencias, con los siguientes resultados:

Tabla 13

N. de documentos por clúster

Cuartil/categoría	N. documentos
Clúster 1	13
Clúster 2	46
Clúster 3	14
Clúster 4	13
Total	86

Sobre el conjunto de los documentos obtenidos para cada clúster, se analizaron únicamente aquellos artículos que mostraron una disponibilidad de acceso al texto completo y que estaban relacionados a las variables analizadas en esta investigación, por lo que a priori, se han seleccionado 10 documentos para cada clúster, que fueron analizados individual y grupalmente en diferentes grupos temáticos.

3.4. Procesamiento estadístico de la información

El procesamiento estadístico de la información bibliométrica se realizó utilizando R Studio, con el paquete Bibliometrix/Biblioshiny, con las siguientes actividades:

- La información bibliográfica obtenida de Scopus en formato BibTex fue filtrada y depurada, es decir, se eliminaron duplicados, errores tipográficos y normalización de la información en los campos de autores, palabras clave, países, instituciones, entre otra información.
- Para los artículos seleccionados de las publicaciones del cuartil Q1, el archivo BibTex fue subido a Biblioshiny para la obtención de las medidas bibliométricas, como nubes de palabras, número de publicaciones, distribución por autores, países, instituciones, citas, entre otras que muestra el informe.
- Para la selección de los clústeres se generó un archivo con las frecuencias de coocurrencia de las palabras clave. Dentro de este listado se seleccionaron los grupos de palabras con mayor frecuencia, los cuales representan las temáticas a analizar.
- Para cada clúster, en Biblioshiny se generaron las medidas bibliométricas, pero de forma principal se utilizó la nube de palabras para identificar las temáticas relacionadas.
- Para cada clúster se seleccionaron los artículos más relevantes para analizar su contenido y así identificar sus puntos en común y diferencias, para comprender las tendencias de los estudios de cada temática.

CAPÍTULO IV: Análisis e Interpretación de Resultados

4.1. Análisis e interpretación de resultados

Del análisis bibliométrico utilizando la herramienta Biblioshiny, en la figura 6 se muestran las principales estadísticas sobre toda la producción científica asociada al uso de biosensores para la detección de patógenos en alimentos. Basado en lo mencionado en la metodología solo se seleccionaron a los artículos de las revistas de primer cuartil (Q1) de Scopus, mostrando un periodo de tiempo de 26 años entre 1999-2025.

Figura 6

Principales resultados del análisis bibliométrico



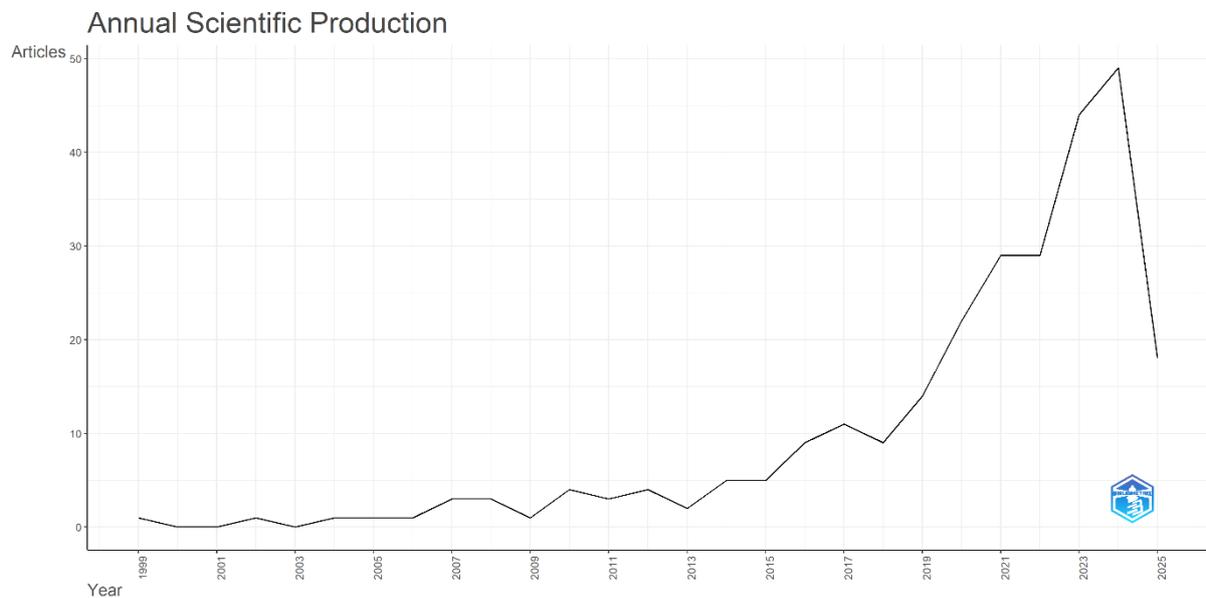
La base de datos recopilada incluye un total de 269 documentos, publicados en 85 fuentes, con una tasa de crecimiento anual del 11.76%, evidenciando un aumento en el interés sobre el tema investigado en los últimos años. En general la edad de los documentos es de 4.75 años, y su impacto se ve reflejado por un promedio de 55.47 citas por artículo.

Por otra parte, se han encontrado 762 palabras clave proporcionadas por el método, y la autoría de los documentos incluye a 1146 investigadores, siendo las colaboraciones de alrededor de 6.49 autores por documento, habiéndose encontrado

solo 3 de autoría única. No obstante, dentro de base de datos recopilada no se evidencian colaboraciones internacionales, sin embargo, esto no ha representado un limitante al análisis, ya que se consideraron otras métricas como la distribución documental, patrones y tendencias sobre el tema de los biosensores en la detección de patógenos en alimentos, como se muestra en la figura 7 sobre el crecimiento anual.

Figura 7

Producción científica anual

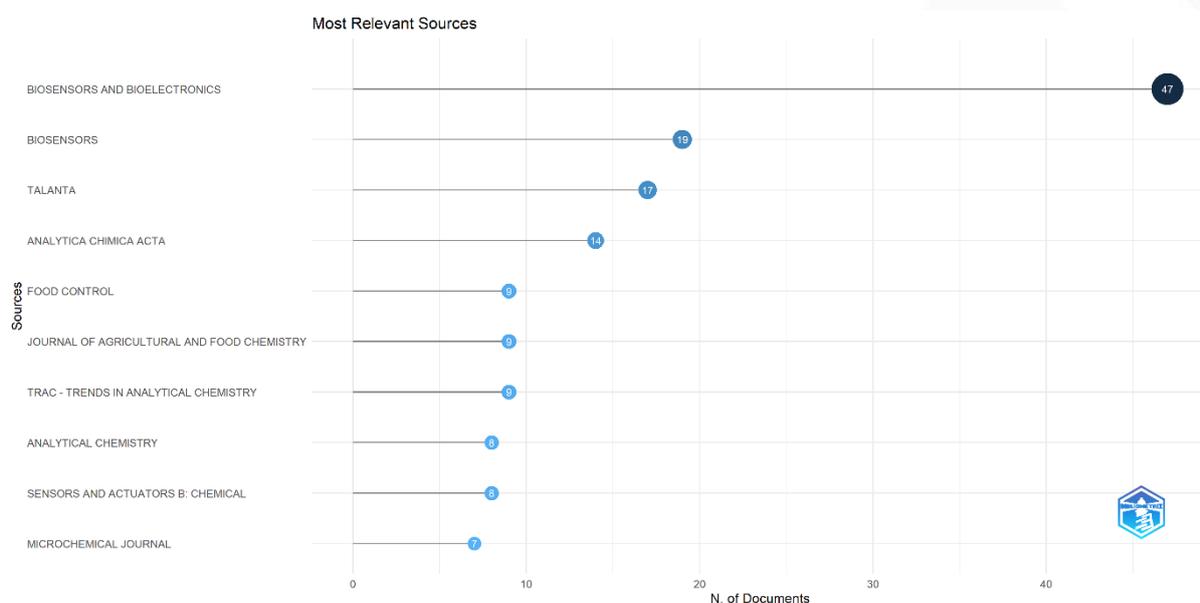


Sobre el crecimiento de la producción científica anual se pueden notar intervalos de tiempo claramente diferenciados. Entre 1999 – 2015, la producción ha sido mínima con solo 10 publicaciones. No obstante, a partir de 2016 comienza a mostrarse un mayor interés sobre el tema, llegando la producción a 14 artículos en 2019. A partir del 2020 en adelante, se muestra un aumento considerable de la investigación llegando a 49 publicaciones en 2024, que representa un crecimiento del 123% en relación con el 2020. Este incremento, puede tener su punto de inflexión en la crisis del Covid-19 y la intensificación de medidas dentro de la seguridad alimentaria. En general, se observa que el campo de los biosensores ha pasado de una etapa inicial de innovación, a un periodo consolidado de investigación.

Con relación a las revistas más relevantes dentro de la producción científica en el campo de biosensores, a continuación, en la figura 8 se muestran los principales resultados.

Figura 8

Revistas líderes en el campo de biosensores



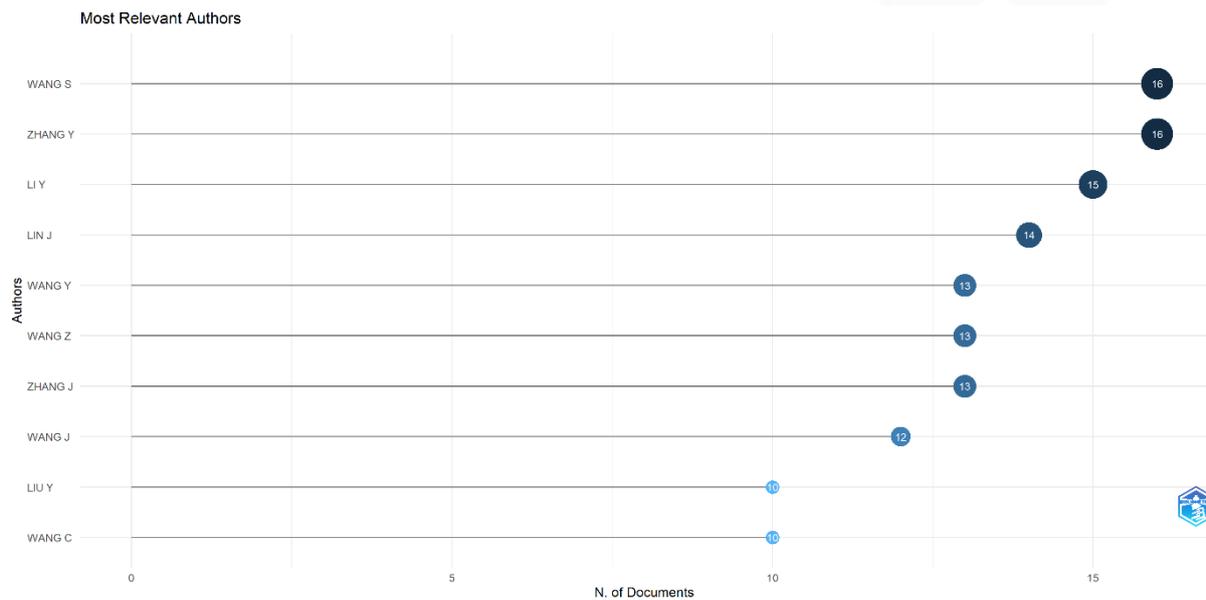
Biosensors and Bioelectronics es la revista con mayor impacto a nivel mundial en el periodo analizado, con un total de 47 publicaciones, reflejando su especialización en la difusión científica en el campo de los biosensores. Otras revistas de alta relevancia son *Biosensors* con un total 19 publicaciones y *Talanta* con 17 artículos, siendo también fuentes reconocidas dentro del área de investigación analizada. También, el análisis muestra otras revistas como *Analytica Chimica Acta* con 14 documentos y *Food Control* con 9, mostrando que el campo de los biosensores es interdisciplinario siendo analizado en el ámbito de las ciencias químicas y de la seguridad alimentaria. Por otra parte, *Journal of Agricultural and Food Chemistry* y *TRAC - Trends in Analytical Chemistry*, cada una con 9 artículos, también muestran el vínculo del tema con la química analítica y temas agroalimentarios. Por

otro lado, hay otras publicaciones que tienen un enfoque hacia el desarrollo tecnológico, la electrónica, la miniaturización aplicada a los biosensores.

Los autores más relevantes o los que mayor producción científica han aportado al tema de estudio, se muestran en la figura 9.

Figura 9

Autores más relevantes

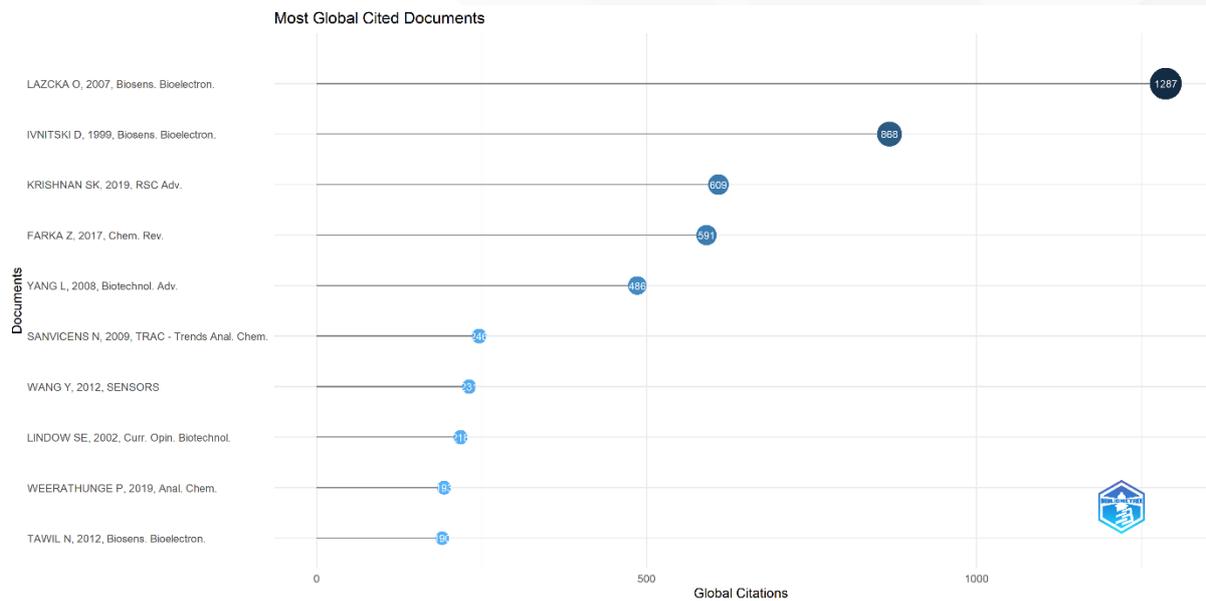


Como se puede observar, los autores Wang S. y Zhang Y lideran la producción científica con 16 artículos cada uno. No obstante, al considerar las autorías fraccionarias (que distribuye el peso con relación a las coautorías), Lin J. tiene un índice de 2.74, a pesar de tener solo 14 artículos con su autoría principal, esto muestra que este autor tiene una participación más equitativa, o en colaboraciones no muy numerosas. Entre otros autores importantes, están Li Y. con 15 artículos, Wang Y. y Wang Z. con 13 publicaciones respectivamente.

Con relación a los documentos más citados a nivel mundial, a continuación, en la figura 10 se muestran los principales.

Figura 10

Documentos más citados



Entre los documentos más citados sobre la temática de estudio está el de Lazcka et al. (2007), el cual trata de la detección de patógenos desde una perspectiva tradicional hasta los biosensores, el cual tiene 1287 citas, con un promedio de citación de 67.71 citas por año. Otro de los documentos con mayor impacto es el de Ivnitski et al. (1999) el cual trata sobre el uso de diferentes tipos de aplicaciones electroquímicas de biosensores en la detección de bacterias, el cual tiene un total de 868 citas, a un promedio de 32.15 por año. Otro estudio importante es el de Krishnan et al. (2019) quienes hacen una revisión de los nanocompuestos basados en grafeno para los biosensores electroquímicos y fluorescentes, este muestra 609 citas, pero por ser reciente tiene un alto índice anual de 87 citaciones por año. Una situación similar ocurre con Farka et al. (2017) el cual muestra un análisis de la nanopartículas en biosensores, con 591 citas. Lo expuesto, muestra que las tendencias actuales en el estudio de biosensores muestran una relevancia e influencia en nuevos estudios dentro del campo de biosensores para la detección de patógenos.

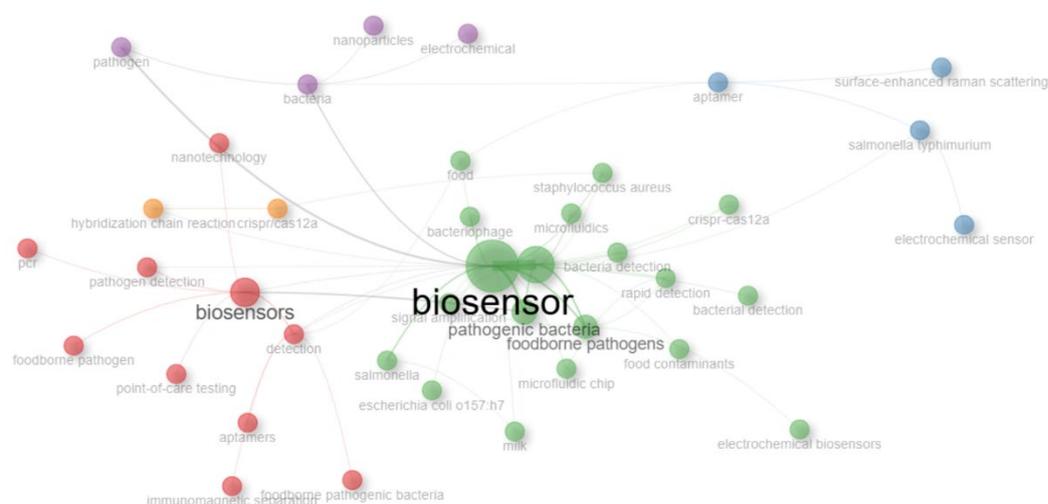
Las palabras más relevantes, tomando como referencia a las propuestas por los autores, está en primer lugar el término biosensor con 53 veces y su plural biosensors en 28 publicaciones, la segunda palabra es *food safety* (seguridad alimentaria), con 33 apariciones. También tienen una alta frecuencia de aparición *pathogenic bacteria*, y *foodborne pathogens* que se muestran 23 y 21 veces respectivamente, lo que demuestra que los estudios están asociados a la temática del estudio. También hay documentos que mencionan patógenos específicos como el *Staphylococcus aureus* y *Salmonella* apareciendo 17 y 11 veces. En general, las palabras clave se integran a las temáticas asociadas a los biosensores, seguridad alimentaria y la detección de patógenos.

4.2. Análisis de correferencias

En la red de correferencias que se muestra en la figura 13 se puede observar una estructura definida alrededor de los nodos de biosensores, seguridad alimentaria, y bacterias patógenas, o contagio por patógenos, y de ahí se derivan hacia términos específicos de cada investigación relacionada con las temáticas propuestas.

Figura 13

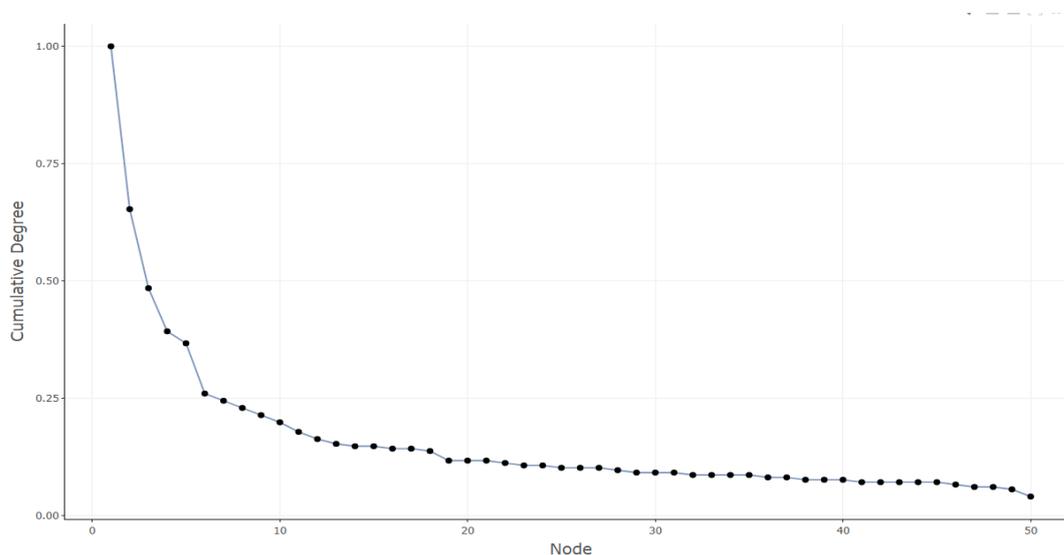
Red de correferencias de términos conceptuales



En relación con el Degree Plot que se muestra en la figura 14, éste muestra el número de conexiones que cada nodo tiene dentro de la red. Por ejemplo, biosensores, es el que tiene el mayor grado con 1, seguido de seguridad alimentaria con un grado de 0.653, luego bacterias patógenas, y patógenos transmitidos con alimentos con un grado de 0.393 y 0.367 respectivamente. Estos elementos son la base para la clasificación de los cuatro clústeres más relevantes cuyo análisis se muestra en los siguientes apartados.

Figura 14

Gráfico Degree Plot



4.2.1 Análisis clúster 1. Innovaciones tecnológicas en biosensores para la detección de riesgos microbiológicos y toxinas en alimentos.

Dentro del presente clúster se han agrupado a los documentos y artículos cuyas investigaciones se han relacionado con el desarrollo de innovaciones tecnológicas en biosensores para mejorar la rapidez y sensibilidad de riesgos microbiológicos y toxinas en la industria alimentaria. Los diferentes artículos muestran elementos en común sobre los principios en los cuales se basa el diseño del biosensor, en la mayoría de los casos basados en nanomateriales y el uso de

bacteriófagos para identificar bacterias patógenas como la *Listeria monocytogenes* y *Staphylococcus aureus*; y sus toxinas como: micotoxinas y toxinas algales.

En este contexto, se puede mencionar que en la actualidad existe una alta demanda por técnicas de detección rápida, alta sensibilidad y fiabilidad, para la protección de los alimentos (Gupta, 2020; Wang et al., 2024). Los biosensores, al día de hoy se han convertido en una de las principales alternativas para la seguridad alimentaria, ofreciendo un monitoreo en tiempo real y minimizando los mismos (Hussain et al., 2021). Entre los avances de los últimos años se incluye el uso de nanomateriales para mejorar la sensibilidad y el rendimiento del dispositivo (Gupta et al., 2021). Además se han explorado el desarrollo de biosensores electroquímicos, ópticos, térmicos, piezoeléctricos, microfluídica entre otros (Soni et al., 2018; Wang et al., 2024).

Sobre los experimentos y pruebas desarrolladas, éstas se han centrado en la integración de elementos para el bioreconocimiento, con diferentes traductores a base de nanomateriales (Yu et al., 2021). Por otra parte, los biorreceptores incluyen el uso de enzimas, anticuerpos, ácidos nucleicos, aptámetros y en muchos de los estudios bacteriofágos (Farooq et al., 2018; R. Gupta et al., 2021; Hussain et al., 2021). Se puede decir que los fagos tienen una alta valoración, relacionada con su alta especificidad en bacterias hospedadoras, y su tolerancia en condiciones extremas y su accesibilidad en su producción (Farooq et al., 2018; Hussain et al., 2021). Lo mencionado tiene una aplicación en matrices alimentarias complejas, tales como en la leche o agua (Gupta et al., 2021; Peng et al., 2020).

A continuación, se muestra un resumen de las principales innovaciones mencionadas por los autores:

Tabla 14*Innovaciones en biosensores*

Innovación	Autores
Uso de nanomateriales, tales como nanopartículas metálicas, puntos cuánticos, grafeno, nanotubos de carbono, para mejorar la sensibilidad, la superficie de detección y la transducción de señal en biosensores.	(R. Gupta et al., 2021; Samani et al., 2021; Soni et al., 2018; Yu et al., 2021)
Aplicación de bacteriófagos, virus específicos de bacterias, completos o modificados y sus componentes, como proteínas de unión y bioreceptores selectivos para la detección rápida de patógenos bacterianos.	(Farooq et al., 2018; Hussain et al., 2021; Peng et al., 2020; Yu et al., 2021)
Mejoras en plataformas de biosensores electroquímicos, amperométricos, impedimétricos, potenciométricos que ofrecen alta sensibilidad, portabilidad, a menudo combinados con nanomateriales y bioreceptores específicos.	(R. Gupta et al., 2021; Soni et al., 2018; Yu et al., 2021)
Biosensores ópticos y colorimétricos que permiten la detección visual o instrumental a través de cambios de color o intensidad de luz, utilizando nanomateriales, como nanopartículas de oro, y bioreceptores para una respuesta rápida.	(R. Gupta et al., 2021; Peng et al., 2020; Samani et al., 2021)
Otros bioreceptores como aptámeros, ácidos nucleicos (ADN/ARN), anticuerpos (inmunosensores) y péptidos, seleccionados por su alta afinidad y especificidad hacia analitos como toxinas o componentes bacterianos).	(R. Gupta et al., 2021; Samani et al., 2021; Soni et al., 2018; Yu et al., 2021)

En general, los documentos dentro de este clúster muestran la incorporación de nanomateriales, y bacteriófagos los que han mejorado la sensibilidad y especificidad para una detección rápida de patógenos. Si bien, se ha logrado la detección en muestras complejas, se tienen desafíos futuros relacionados con las transferencias de las tecnologías de los laboratorios a los campos, así como la detección de múltiples analitos, lo que requiere una colaboración interdisciplinaria (Farooq et al., 2018).

4.2.2 Análisis clúster 2. Avances en biosensores en la industria alimentaria para la detección de patógenos y resistencia antibiótica.

Los documentos del presente clúster dan énfasis al uso de los biosensores dentro de la seguridad alimentaria, en la detección de aquellos agentes patógenos que son transmitidos por alimentos, y que son la principal causa de enfermedades e incluso la muerte de la población. Aunque las técnicas tradicionales son precisas, éstas son lentas y la complejidad de su implementación limitan su eficacia (Miguéis et al., 2021; Xing et al., 2022). En este sentido los biosensores muestran grandes avances direccionados hacia una diagnóstico portátil y eficiente (Fu et al., 2021a; Kulkarni et al., 2023).

Los biosensores hacen uso de una variedad de principios de transducción para convertir un determinado evento de reconocimiento biológico en una señal medible, destacándose plataformas electroquímicas, por ser simples, fiables, desechables, siendo adecuadas para aplicaciones in situ (Kulkarni et al., 2023; Miguéis et al., 2021; Wu et al., 2023). Entre otros avances están los biosensores ópticos, con técnicas como SPR, fluorescencia, colorimetría y SERS, que han demostrado tener una alta sensibilidad y especificidad (Oliveira et al., 2025; Z. Xu et al., 2023). Entre otros avances están los biosensores de masa, como los de microbalance de cristal de cuarzo (QCM), o los biosensores magneto elásticos (ME) (Al-Hindi et al., 2022).

Estas tecnologías han sido desarrolladas para la detección de diferentes patógenos para la seguridad alimentaria, tales como la *Escherichia coli* (*E. coli*), en especial la cepa O157:H7 (Xu et al., 2023), *Salmonella* (incluyendo *S. Typhimurium* y *S. enterica*) (Wu et al., 2023), *Staphylococcus aureus* (Al-Hindi et al., 2022), *Listeria monocytogenes* (Miguéis et al., 2021); y otros como *Bacillus cereus*, *Campylobacter jejuni*, y *Proteus mirabilis* (Awlqadr et al., 2025; Oliveira et al., 2025). Si bien, el

objetivo de los biosensores es la detección de patógenos, éstas plataformas también permiten identificar la resistencia a los antibióticos, como cepas e incluso genes resistentes (Xing et al., 2022; Y. Xu et al., 2023).

Entre los principales avances a continuación se presenta una tabla resumen:

Tabla 15

Avances de biosensores en detección de patógenos y resistencia alimentaria

Tipo de avance	Explicación o aplicación	Tipos de patógenos	Citas
Biosensores para detección rápida	Provisión de detección rápida, ultrasensible y específica, adecuada para monitorización <i>in situ</i> y en el Punto de Atención (POCT).	Diversos patógenos bacterianos transmitidos por alimentos	(Al-Hindi et al., 2022)
Biosensores electroquímicos (ECS)	Dispositivos que convierten eventos de biorreconocimiento en señales eléctricas medibles (amperometría, impedimetría, potenciometría). Simplicidad, fiabilidad, bajo costo y potencial desechable, ideales para aplicaciones POCT.	Amplia gama de patógenos, incluyendo <i>E. coli</i> (O157:H7, K12, O78:K80:H11), <i>Salmonella</i> (spp., Typhimurium), <i>S. aureus</i> (MRSA), <i>L. monocytogenes</i> , <i>Shigella dysenteriae</i> , <i>Vibrio parahaemolyticus</i>	(Kulkarni et al., 2023) (Wu et al., 2023)
Biosensores ópticos	Utilizan principios ópticos como SPR, fluorescencia, colorimetría y SERS. Ofrecen alta sensibilidad y especificidad	Patógenos relevantes como <i>E. coli</i> (O157:H7, K-12), <i>Salmonella</i> (spp., Enteritidis, Typhimurium), <i>S. aureus</i> , <i>L. monocytogenes</i> , <i>Campylobacter jejuni</i> , <i>Vibrio cholera</i> , <i>B. thermosphacta</i> , <i>M. luteus</i> , <i>P. fluorescens</i> , <i>B. thuringiensis</i>	(Al-Hindi et al., 2022; Awlqadr et al., 2025; Oliveira et al., 2025; Paredes & Ávila, 2022; Y. Xu et al., 2023)

Biosensores basados en masa y magnetoelásticos (me)	Sensores como la microbalance de cristal de cuarzo (QCM) y los sensores magnetoelásticos. Detectan el aumento de masa o cambios en las propiedades magnetoelásticas tras la unión del analito. Los sensores ME muestran excelente especificidad y sensibilidad, aptos para detección en tiempo real	la <i>Salmonella</i> (Typhimurium), <i>Bacillus cereus</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> (cepas resistentes y sensibles a meticilina), <i>Bacillus anthracis</i> (esporas).	(Al-Hindi et al., 2022; Wu et al., 2023)
Integración con nanomateriales	El uso de nanomateriales (AuNPs, MNPs, CNTs, grafeno, QDs, etc.) mejora significativamente la sensibilidad, especificidad y rendimiento analítico de diversas plataformas de biosensores. Actúan como elementos de transducción, mejorando la señal o inmovilización de biorreceptores.	Detección de diversos patógenos bacterianos (la mejora es generalizada) Ejemplos incluyen <i>E. coli</i> , <i>Salmonella</i> , <i>L. monocytogenes</i> , <i>Staphylococcus arlettae</i> . También la detección de genes específicos.	(Al-Hindi et al., 2022; Kulkarni et al., 2023; Y. Xu et al., 2023)
Integración con microfluídica ("lab-on-a-chip")	La combinación de biosensores con tecnología microfluídica permite la miniaturización, automatización del manejo de muestras y detección en un solo dispositivo compacto. Facilita análisis rápidos, precisos y de alto rendimiento en el punto de atención.	Detecta patógenos bacterianos transmitidos por alimentos de manera efectiva, rápida y precisa, permitiendo determinar especies y cantidades. Ejemplos: <i>E. coli</i> , <i>S. aureus</i> (MRSA), <i>Listeria monocytogenes</i> .	(Fu et al., 2021a)
Integración con técnicas de amplificación de ácido nucleico y crispr-cas	Combinación de biosensores con métodos como LAMP, RCA, HCR o sistemas CRISPR-Cas. Mejora la sensibilidad al amplificar la	Detección de patógenos a través de su ADN/ARN, incluyendo la detección de genes de resistencia	(Fu et al., 2021a; Wu et al., 2023; Y. Xu et al., 2023)

señal o detectar secuencias genéticas específicas. Permite la detección de genes de resistencia.	antibiótica como el gen <i>mecA</i> (asociado a MRSA). Detección de <i>L. monocytogenes</i> , <i>Cronobacter sakazakii</i> .
--	--

4.2.3 Análisis clúster 3. Tecnologías avanzadas de biosensado para el análisis de riesgos en la industria alimentaria.

En relación a los documentos seleccionados del clúster 3, éstos tienen en común el análisis de tecnologías avanzadas de biosensado para la detección de riesgos en alimentos, con diferentes alternativas para la detección rápida y alta sensibilidad en bacterias, toxinas, residuos de pesticidas, metales pesados, medicamentos veterinarios entre otras (S. Bu et al., 2021; Lang et al., 2023). Entre las tecnologías que se han desarrollado en los últimos años están los sistemas que integran CRISPR/Cas12a con técnicas de amplificación de señal como PER o HCR (S. Bu et al., 2021; Song et al., 2023; Sun et al., 2024), biosensores basados en nanoenzimas (Lang et al., 2023) , y nano partículas magnéticas (Lee et al., 2018), microfluídica , transistores de grafeno (Y. Zheng et al., 2022), materiales luminiscentes (PLMs) (Li et al., 2024). Todos estos con un fin común de contar con sistemas portátiles, de bajo costo y adecuados para pruebas de vigilancia alimentaria.

Entre las principales tecnologías están los biosensores basados en CRISPR/Cas y amplificación de señal, los cuales aprovechan en su mayoría el sistema Cas12a en la detección de patógenos (S. Bu et al., 2021; Song et al., 2023; Sun et al., 2024; Wen et al., 2023). La capacidad de Cas12a para realizar cortes colaterales en el ADN permiten la generación de una señal, con alta sensibilidad, y que, combinados con técnicas de amplificación de ácido nucleico como PER (Primer Exchange Reaction), HCR (Hybridization Chain Reaction), RAA (Recombinase Aided

Amplification) o VPCR (V-shaped PCR), han logrado mejorar la rapidez en la detección de patógenos (S. Bu et al., 2021; Song et al., 2023; Wen et al., 2023; Xing et al., 2022).

Por otra parte, los biosensores basados en nanozimas, que son nanomateriales inorgánicos con una actividad enzimática simulada, se han posicionado dentro del campo de detección de riesgos alimentarios. Este tipo de tecnología tiene ventajas como alta sensibilidad, selectividad, estabilidad y son menos costosos con relación a las enzimas naturales. Se han utilizado para detectar microorganismos patógenos, toxinas (aflatoxinas, ocratoxinas), residuos de pesticidas o medicamentos veterinarios y metales pesados. Estos sistemas con el principio en nanozimas, con frecuencia se combinan con colorimetría o fluorescencia, para lograr mejores resultados en la vigilancia de la seguridad alimentaria (Lang et al., 2023).

Entre otras tecnologías están los biosensores magnéticos, que utilizan Magnetic Relaxation Switching (MRS) (Wen et al., 2023); ópticos, que utilizan materiales luminiscentes persistentes (PLMs) o de fluorescencia de onda evanescente (Li et al., 2024; Song et al., 2023), y otros basados en transistores de grafeno (Zheng et al., 2022). Los principios tanto físicos como químicos de los sistemas mencionados, buscan convertir el evento de reconocimiento del analito en una señal medible, y así detectar trazas de contaminantes en matrices alimentarias complejas (S. Bu et al., 2021; J. Zheng et al., 2024).

A continuación, se presenta una tabla con los principales avances tecnológicos en materia de biosensores para la seguridad alimentaria.

Tabla 16

Tecnologías avanzadas en el biosensado

Avance	Principio de funcionamiento	Patógenos detectados	Citas
Biosensor electroquímico basado en CRISPR/Cas12a y PER	Utiliza aptámeros de ADN funcional que se unen a bacterias objetivo, liberando una estructura de horquilla PER. La reacción de PER produce ssDNA largos que activan la actividad de corte colateral de Cas12a sobre ssDNA modificado en un electrodo de Au, disminuyendo la señal electroquímica.	Detección y cuantificación de <i>Escherichia coli</i> O157:H7. Probado en muestras de leche. Alta selectividad frente a otras bacterias. Diseñado para pruebas en el punto de necesidad (POCT).	(S. Bu et al., 2021)
Biosensores basados en nanozimas	Emplean nanomateriales inorgánicos con actividad catalítica similar a enzimas naturales, ofreciendo alta sensibilidad, selectividad y estabilidad a menor costo. Catalizan reacciones que generan señales medibles por colorimetría.	Microorganismos patógenos (<i>E. coli</i> O157:H7, <i>S. typhimurium</i> , <i>L. monocytogenes</i> , <i>S. aureus</i> , <i>S. Enteritidis</i>), toxinas (AFB1, OTA, MC-LR, STX), residuos de pesticidas, medicamentos veterinarios (<i>clenbuterol</i> , <i>cloranfenicol</i> , <i>kanamicina</i> , etc.), metales pesados (Hg^{2+} , Pb^{2+} , Cr^{6+} , etc.), y otros (<i>histamina</i> , <i>nitrito</i> , <i>Sudan</i>). Orientado a POCT y detección multiplexada.	(Lang et al., 2023)
Biosensor fluorescente CRISPR/Cas12a-HCR	La activación de Cas12a por el ADN blanco desencadena una reacción de HCR (Hybridization Chain Reaction) utilizando sondas de horquilla, generando largos polímeros de ADN que amplifican la señal. La detección se realiza mediante fluorescencia (usando una plataforma de onda	Detección rápida y ultrasensible de <i>Escherichia coli</i> O157:H7. Detección sensible de <i>S. aureus</i> y fragmentos de ADN blanco. Plataforma versátil para detección de patógenos en seguridad alimentaria.	(Song et al., 2023)

	evanescente o nanoprobos Poly T-Cu).		
Biosensor UPC-MRS basado en CRISPR/Cas12a, VPCR y Tdt	Combina CRISPR/Cas12a con VPCR (V-shaped PCR) para amplificación ultrarrápida del blanco. Incluye tratamiento UDG (Uracil-DNA Glycosylase) para control de contaminación. La señal se amplifica adicionalmente por Tdt (Terminal deoxynucleotidyl transferase). Detección basada en MRS (Magnetic Relaxation Switching) usando sondas magnéticas.	Detección rápida y ultra-específica de bacterias patógenas transmitidas por alimentos.	(Wen et al., 2023)
Biosensor de ADN basado en Transistor de Grafeno (SGGT)	Utiliza un transistor de grafeno con una puerta sensora de oro modificada con sondas de ADN de cadena simple (ssDNA). La hibridación directa del ADN blanco con la sonda inmovilizada provoca un cambio en las propiedades eléctricas del transistor, detectado como una señal.	Detección rápida, sin marcaje ni amplificación de <i>Staphylococcus aureus</i> (S. aureus) y su genoma. Aplicable a la seguridad alimentaria. LOD de 10^{-17} M (10^3 CFU/mL) para el genoma	(Zheng et al., 2024)
Biosensor de Flujo Lateral (LFB) basado en CRISPR-RAA	Combina CRISPR/Cas12a con RAA (Recombinase Amplification). La RAA amplifica el ADN blanco que luego activa la actividad de corte colateral de Cas12a. La detección se visualiza en una tira de flujo lateral (LFB), donde el corte de una sonda marcada por Cas12a genera una señal cuya intensidad depende de la concentración del blanco. Evita falsos positivos.	Detección rápida, sensible y específica de bacterias patógenas transmitidas por alimentos.	(Zhou et al., 2022)
Biosensores basados en	Emplean materiales que emiten luz (fosforescencia) por un	Aplicación en el análisis de contaminantes alimentarios.	(Li et al., 2024)

materiales luminiscentes persistentes (PLMs)	tiempo prolongado después de la excitación inicial, actuando como reservorios de energía lumínica.	Mencionado específicamente para la detección de residuos de pesticidas y bio-enzimas.
--	--	---

4.2.1 Análisis clúster 4. Aptasensores y nanomateriales en la detección de patógenos y resistencia antibiótica aplicados a los alimentos.

Dentro de este grupo de documentos se incluyen a aquellos relacionados sobre el desarrollo de tecnologías en aptasensores y biosensores basados en nanomateriales, y su aplicación en la detección de microorganismos patógenos en los productos alimenticios. Se resalta el uso de diferentes nanomateriales como el grafeno, nanotubos de carbono y nanopartículas de oro, plata y magnéticas, que ayudan a mejorar el rendimiento de los sensores, como su conductividad, el área superficial y la amplificación de la señal (Hao et al., 2017a; Parthasarathy, 2023; Rahimizadeh et al., 2023; Wasiewska et al., 2023). También los artículos exploran el uso de los aptámeros como elementos para identificar cepas bacterianas específicas e incluso hacer pruebas de susceptibilidad antibiótica (Dinshaw et al., 2017; Hao et al., 2017a; Rahimizadeh et al., 2023). En general, las investigaciones seleccionadas muestran soluciones de mayor eficiencia a métodos comunes para garantizar la seguridad alimentaria.

Las investigaciones muestran que existe una integración entre los diversos nanomateriales que ayudan a potenciar la detección de patógenos. Entre estos se pueden mencionar el óxido de grafeno reducido (rGO) y nanopartículas de oro (AuNPs), plata (AgNPs), magnéticas (MPs/NPs) y de sulfuro de cadmio (CdS), que presentan una mejor conductividad y sensibilidad en la detección (Dinshaw et al., 2017; Du et al., 2023; Wasiewska et al., 2023). Además la integración en configuraciones con transistores de efecto de campo (FETs) y sensores

electroquímicos, que usan CV, DPV, EIS, han sido modificados con nanocompuestos como el rGo-quitosano (Dinshaw et al., 2017). También se observan estructuras 3D con hidrogeles de grafeno (Hao et al., 2017a).

En este contexto, los biosensores basados en aptámeros o secuencias de ácidos nucleicos, como principal elemento para el bioreconocimiento, aprovechan la característica de unión selectiva sean bacterias completas o genes específicos (Dinshaw et al., 2017; Hao et al., 2017a; Rahimizadeh et al., 2023). En el caso de la especificidad de este tipo de biosensores, esta permite distinguir entre cepas tanto patógenas como no patógenas, incluso entre diferentes serotipos (Wasiewska et al., 2023). En este sentido, se evidencia la relevancia en la selección de genes como *stx1/stx2* para STEC o *yaiO* para *E. coli*, y nanoestructuras de ADN tetraédrico (TDNs) para mejorar la eficiencia en el reconocimiento, mediante un espacio 3D estructurado (F. Zhu et al., 2021).

Por lo expuesto, la aplicación de los biosensores se ha centrado en microorganismos como como *Escherichia coli* (incluyendo cepas como STEC y O157:H7) y *Salmonella entérica* (especialmente *S. Typhimurium*) (Dinshaw et al., 2017). Las pruebas realizadas a estos dispositivos se han validado tanto en simulaciones, como en sistemas reales de agua potable, aguas residuales, lácteos, jugos y otros alimentos procesados (Dinshaw et al., 2017; Du et al., 2023; Hao et al., 2017a; Wasiewska et al., 2023). En este sentido, las tendencias buscan la integración de varias funciones como la captura, concentración de la susceptibilidad antibiótica (AST), en plataformas microfluídicas POC tipo one stop, sin embargo, aún hay dificultades para su desarrollo en términos de tecnología y economía (Zhu et al., 2021).

CAPÍTULO V: Conclusiones, Discusión y Recomendaciones

5.1. Discusión

El estudio bibliométrico realizado ha permitido identificar las principales tendencias investigativas en la producción científica en el tema biosensores aplicados en la detección de patógenos en alimentos. Las métricas muestran un crecimiento de los estudios de la temática, en especial en la última década, con un promedio del 11.76% anual, llegando a 49 publicaciones en 2024. Los diferentes estudios en campos que abarcan varios sectores sanitarios y ambientales muestran la actualidad y potencial. En efecto, como lo menciona Dirpan et al. (2023), el progreso científico hacia el uso de los biosensores, ha impulsado el desarrollo de la literatura científica en muchos campos de ciencias relacionadas.

La documentación analizada, en su mayoría han sido artículos científicos que pertenecen a revistas especializadas categorizadas dentro del cuartil 1 (Q1), por lo que, la línea de investigación de los biosensores, tecnologías asociadas y aplicaciones ha sido impulsada por nuevos conocimientos, y logros científicos por autores reconocidos a nivel mundial en este campo. Como lo menciona Iriawan et al. (2024), los estudios y producción científica en el campo los biosensores, implica varias tendencias e innovaciones tecnológicas, que buscan dar solución a los diferentes problemas y retos que enfrenta no solo la industria alimentaria, sino el sector biomédico, ambiental, sanitario entre otros.

Con relación a los autores y revistas que lideran la producción científica, la mayor parte de las publicaciones está concentrada en las revistas del cuartil 1 (Q1) como: *Biosensors and Bioelectronics*, *Biosensors* y *Talanta*, las cuales están especializadas en química analítica y tecnologías de biodetección. Estas publicaciones como lo mencionan Zhang et al. (2018) son de los principales medios

de divulgación científica en la temática de análisis. Y, al ser revistas categorizadas dentro del cuartil Q1, sus publicaciones sobre innovación y avances en esta temática son un referente de consulta para nuevas tendencias de investigación, así como, son un referente metodológico y de estructura, para la presentación académica y científica de los resultados de futuras investigaciones.

Entre los autores con producción más prolífica son Wang S. y Zhang Y., lo cual, muestra que las investigaciones están concentradas solo en determinados grupos multidisciplinarios. Esto también se refleja en los altos niveles de coautoría en los estudios, con un promedio de 6.49 autores por artículo. Como lo mencionan Valente et al., (2024) existen altos niveles de producción científica, en especial por autores asiáticos, los cuales requieren una red de colaboración internacional para llegar a un público global, donde el beneficio de las colaboraciones involucraría a especialistas y referentes en diferentes áreas como biología, electro-química, ciencia de materiales, electrónica, y otras ingenierías (Yussof et al., 2022).

Además, Valente et al. (2024) menciona que a nivel mundial la falta de colaboración entre grupos de investigaciones locales o internacionales representa un desafío en la alineación de los objetivos y metodologías específicas, ya que, muchos de los estudios relacionados con la seguridad alimentaria responden a necesidades específicas tanto de las industrias, como del mercado consumidor donde se realiza la investigación. Y como también lo exponen Nazir et al. (2023) los estudios e investigaciones pueden o no cumplirse con estándares internacionales sobre aplicaciones prácticas en la seguridad alimentaria, siendo este un limitante para la transferencia o adaptación de las tecnologías en entornos de mayor riesgo en la producción de alimentos y salud de la población.

El estudio ha identificado tendencias en la investigación de biosensores, como lo son la seguridad alimentaria, alimentos, patógenos. A pesar que, estos términos muestran ser amplios en su alcance, los estudios de Bhattarai y Hameed (2020) presentan tendencias específicas hacia estos campos como son la especificidad y sensibilidad para la detección de analitos, así como bacterias y toxinas en los alimentos. Y de igual manera Polat et al. (2022) reducen el análisis del uso de biosensores para la detección de patógenos hacia el caso específico del *Staphylococcus aureus* y la *Salmonella*, estudios que incluyen tanto el diseño de los dispositivos de biosensado, el tipo de transductor utilizado, y la técnica específica de detección. Por lo que, la producción científica analizada no aborda la temática de forma general, sino que provee de soluciones y métodos de aplicación específicos.

Entre otros términos que han presentado mayor frecuencia en las tendencias de estudios están: *aptamers*, *bacteriophages*, *CRISPR-Cas* y *nanoenzymes*, los cuales se están convirtiendo en el futuro del bioreconocimiento. En este contexto el estudio de Bhattarai y Hameed (2020) mencionan que el estudio de los biosensores en base a técnicas tradicionales como enzimas o anticuerpos, solo se va enfocando a aplicaciones específicas y comprobadas. No obstante, la aparición de nuevos avances científicos y nuevas alternativas de detección de tipo sintéticas o moleculares, refleja el interés que tiene esta rama de la ciencia para lograr una mayor eficiencia en la detección de los patógenos en diferentes escenarios del sector alimentario.

Las diferentes tendencias y avances de los biosensores en la actualidad requiere la integración de diversas tecnologías, que hacen a los sistemas de detección más complejos, ya que, las tendencias buscan una detección más rápida (tiempo real), parámetro que es crítico dentro de la industria de alimentos, en vista de

que se puede poner en riesgo la salud de los consumidores, razón por la que en la actualidad incluso se están aplicando algoritmos de inteligencia artificial para el procesamiento de la información (Hassan et al., 2025).

Sin embargo, el sector alimentario y el desarrollo de los biosensores tiene como reto en el futuro la reducción de costos, la escalabilidad y comercialización de la tecnología (Awlqadr et al., 2025). Y a pesar de los avances en el tema de biosensores, aún existen áreas que no han sido abordadas como biosensores de detección química para el fraude (Onyeaka et al., 2022), o el desarrollo de métodos simplificados para el pretratamiento de las muestras, para evitar la interferencias en los tiempo de detección, a través de plataformas microfluídicas (Fu et al., 2021). Este desarrollo busca la optimización de procesamiento de señales, que permitan el uso del aprendizaje automático, en conjunto de nuevos nanomateriales para asegurar la inocuidad en la cadena alimentaria (Kulkarni et al., 2023).

Por otra parte, el estudio identificó cuatro clústeres temáticos: 1) Innovaciones tecnológicas en biosensores; 2) Avances de biosensores en la industria alimentaria; 3) Tecnologías avanzadas de biosensado; 4) Aptasensores y nanomateriales para detectar patógenos. Como lo menciona Zhang et al. (2025) la clasificación por ejes temáticos permite revisar como ha avanzado la investigación científica, las principales temáticas tratadas y líneas de investigación futura. En tal virtud, la división del análisis por grupos permite analizar a los biosensores desde el tipo de nanotecnología que utilizan, los tipos de patógenos que detectan, el uso de nuevos materiales y técnicas dentro del sector alimentario (Huang et al., 2021; Yussof et al., 2022).

Dentro del clúster 1 se analizan las diferentes innovaciones tecnológicas de los biosensores en la detección de riesgos microbiológicos y toxinas en alimentos. Estos estudios mostraron el desarrollo y uso de nuevos nanomateriales, tales como:

nanopartículas metálicas, de grafeno o nanotubos de carbono, para mejorar la sensibilidad, las superficies de detección y la transducción de las señales (V. Gupta, 2018; Soni et al., 2018). Entre otras innovaciones están relacionadas con el uso de bacteriófagos como biorreceptores en matrices alimentarias complementarias como la leche, así como el uso de puntos cuánticos de carbono, para la detección óptica de baja toxicidad y modificación química (V. Gupta, 2018; Samani et al., 2021; Soni et al., 2018).

Por su parte, el clúster 2 engloba los estudios sobre los avances de biosensores en la industria alimentaria y la resistencia antibiótica, donde los dispositivos en la actualidad se enfocan hacia la portabilidad y rapidez (Fu et al., 2021b). Se enfatiza que las técnicas tradicionales presentan respuestas tardías y que nuevas plataformas electroquímicas muestran mayor simplicidad de aplicación, fiabilidad y bajos costos, que las hacen ideales para aplicaciones in situ (Kulkarni et al., 2023). Entre los avances que se mencionan están los biosensores ópticos y la integración de nanomateriales con microfluídica que permite la miniaturización, así como otras técnicas para la detección de genes de resistencia y el uso de analítica de datos e inteligencia artificial para optimizar los procesos de análisis (Fu et al., 2021b).

Dentro del clúster 3 se muestran aquellas tecnologías avanzadas de biosensado aplicadas en riesgos de la industria alimentaria, donde se busca una detección rápida, sensible y portátil para bacterias, toxinas, residuos de pesticidas y metales pesados (Lang et al., 2023). El mayor hallazgo se centra en el desarrollo de los biosensores basados en CRISPR/Cas12 que en conjunto con otras técnicas, pueden generar una alta sensibilidad y rapidez en la detección de patógenos como la *Escherichia coli O157:H7* (T. Bu et al., 2019; Song et al., 2023; Wen et al., 2023).

Además se mencionan a los biosensores con base en nanozimas, que son nanomateriales inorgánicos y que simulan la actividad enzimática con buenas propiedades y bajo costo (Song et al., 2023).

En el clúster 4, las investigaciones se han centrado en aptasensores y nanomateriales para detectar patógenos y resistencia antibiótica en alimentos. La mayor parte de las investigaciones hacen referencia al uso del grafeno, los nanotubos de carbono y nanopartículas de oro, plata y magnéticas que mejoran tanto la conductividad, la superficie y la señal a amplificar (Parthasarathy, 2023). Además, se menciona que los aptámeros se han convertido en los principales elementos dentro del desarrollo de los biosensores y por su capacidad selectiva permiten distinguir entre cepas patógenas y no patógenas (Dinshaw et al., 2017; Hao et al., 2017b; Rahimizadeh et al., 2023). Si bien, estos dispositivos han sido validados en diferentes experimentos, aún existen desafíos tanto en tecnología como en economía para su desarrollo en aplicaciones prácticas (J. Zhu et al., 2023).

Con base a lo expuesto, la hipótesis planteada ha sido validada, ya que, el análisis bibliométrico ha permitido identificar las tendencias de la producción científica en materia de biosensores para la detección de patógenos en la industria alimentaria. Y como lo menciona Nazir et al. (2023) este campo se ha convertido en una necesidad social, ya que, este tipo de tecnología puede ser uno de los principales elementos para lograr mejorar los índices de seguridad alimentaria a nivel global.

En general la producción científica en materia de biosensores muestra un crecimiento en los últimos años, y de forma específica su aplicación en la seguridad alimentaria se ha convertido en una prioridad tanto para la industria, como para los gobiernos. La necesidad de contar con nuevas tecnologías que permitan una detección rápida, escalable y de bajo costo, ayudará a reducir el riesgo de

enfermedades transmitidas por agua y alimentos, en especial en países en vías de desarrollo.

5.2. Conclusiones

Las tendencias en investigación en los últimos años han evolucionado en la búsqueda de nuevas alternativas tecnológicas para el desarrollo de biosensores, yendo más allá de solo mejorar y optimizar los dispositivos tradicionales basados en anticuerpos, avanzando hacia nuevas alternativas como la biología sintética y molecular. Además, existe un direccionamiento hacia el diseño de dispositivos para funciones y detecciones específicas como ácidos nucleicos sintéticos, sistemas de edición genéticas, mostrando que el campo de los biosensores busca alternativas robustas, con alta estabilidad y que sean reproducibles para su aplicación a nivel global.

En general, las diferentes líneas sobre las cuales avanza la investigación de biosensores, tienen como elemento común la creación y el desarrollo de sistemas de detección que sean rápidos, con alta sensibilidad y portátiles. Se ha dado énfasis hacia la miniaturización y microfluídica como métodos que permitan trasladar el análisis diagnóstico, exclusivo de los laboratorios, hacia el punto de medición como las plantas de producción, o sistemas de tratamientos de aguas. Esto ayuda a la toma de decisiones informadas y oportunas ante posibles riesgos de seguridad alimentaria.

La producción científica en materia de biosensores está concentrada en un grupo de revistas del cuartil Q1, lo que demuestra que el campo de investigación está mostrándose relevante y de alto impacto. Si bien se puede pensar que la concentración puede ser signo de la exclusividad que tienen determinados autores o instituciones, esta dinámica responde al proceso riguroso de revisión de pares, el cual ha validado el aporte científico de cada investigación. En este sentido, los artículos

se convierten en una base fiable y son la referencia para la continuidad y desarrollo de innovaciones en el campo de los biosensores dentro de la seguridad alimentaria.

Se ha observado que el ámbito de los biosensores muestra cambios conceptuales. Términos como aptámeros o CRISPR revelan que el campo de investigación está avanzando más allá de solo el uso de la biología, sino que ahora se busca relacionarla con la ingeniería sintética, con lo que se están diseñando y construyendo nuevas tecnologías que brinden mayor precisión y funcionalidad en características de detección que antes eran improbables de alcanzar con las técnicas tradicionales. En efecto, la terminología que abordan estos estudios es más específica, mostrando el término patógeno y seguridad alimentaria, lo que indica que la investigación está orientada hacia la resolución de un problema global.

El análisis bibliométrico realizado, que ha tomado como referencia los diferentes elementos del protocolo PRISMA, ha sido una metodología que ha permitido cumplir con el objetivo de analizar la producción científica en materia de biosensores aplicados para la detección de patógenos en alimentos. En efecto, el enfoque de análisis de métricas bibliométricas, ha ayudado a identificar de forma objetiva la evolución de la investigación en este campo, identificando autores y nuevas corrientes de investigación. Esto ha permitido, tener un panorama para comprender la realidad actual, desafíos y cuáles serán las tendencias que se esperan en el futuro.

5.3. Recomendaciones

Como se ha evidenciado, existe una tendencia hacia la investigación de biología sintética, por lo que, hacia el futuro es necesario que la producción científica aborde sobre el desempeño de estas nuevas plataformas en relación a prácticas tradicionales pero efectivas. En la misma línea, es necesario hacer estudios comparativos entre las tecnologías basadas en CRISPR, aptámeros y fagos para

analizar su vida útil, susceptibilidad, interferencia en matrices alimentarias complejas y no idealizadas, por ejemplo cárnicos procesados y así validar aquellos nuevos elementos que pueden generar una ventaja y beneficio global.

Tomando en cuenta que las tendencias hacia el futuro están direccionadas hacia los dispositivos portátiles, las nuevas investigaciones deberán apostar hacia estos sistemas. No obstante, no solo es necesario contar con el biosensor, sino que se requiere de una muestra que cuente con la preparación en las condiciones que ayuden a obtener un resultado efectivo. Es decir, que la muestra pueda ser miniaturizada y procesada dentro de los propios dispositivos en el campo, para que sea verdaderamente funcional fuera de los entornos controlados, como los laboratorios.

A pesar de que la investigación se concentró en revistas del cuartil Q1 para observar los avances más relevantes y de mayor impacto, se puede estar dejando de lado otras investigaciones que podrían tener un impacto significativo en determinados sectores productivos o locales. En este sentido, en futuros estudios se pueden abordar temas como la estabilidad y funcionamiento de biosensores en ambientes de almacenamiento o transporte de alimentos. Además, se pueden abordar elementos asociados a los costos que representan los biosensores, y si estos pueden ser escalables para su aplicación en todo tipo de industria en cualquier zona geográfica, y así garantizar la seguridad alimentaria.

Si bien, dentro del presente estudio no se logró identificar la procedencia geográfica o de instituciones, debido a los metadatos analizados, es recomendable, hacer estudios específicos sobre la naturaleza tanto a nivel de colaboraciones interinstitucionales como geográficas, y así determinar posibles limitaciones y barreras que se pueden presentar en la investigación global, donde la concentración

en determinados países o universidades, puede estar vinculada tanto a factores económicos, como de propiedad intelectual y normativa, limitando el desarrollo en países emergentes, donde el problema de la salud alimentaria tiene mayor riesgo.

Muchas de las nuevas tecnologías muestran buenos resultados en el laboratorio, pero aún no se tienen elementos adaptados a las necesidades reales de la población. En este sentido, es necesario que exista una colaboración no solo entre instituciones de investigación, sino con otros actores tanto de la industria alimentaria, como de los gobiernos, para de esta manera se puedan conformar equipos multidisciplinarios que diseñen soluciones ajustadas a la realidad y que de forma efectiva aporten a la seguridad de los alimentos y la mejora de la calidad de vida de la población.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Al-Hindi, R. R., Teklemariam, A. D., Alharbi, M. G., Alotibi, I., Azhari, S. A., Qadri, I., Alamri, T., Harakeh, S., Applegate, B. M., & Bhunia, A. K. (2022). Bacteriophage-Based Biosensors: A Platform for Detection of Foodborne Bacterial Pathogens from Food and Environment. En *Biosensors* (Vol. 12, Número 10). <https://doi.org/10.3390/bios12100905>
- Alhuay-Quispe, J., Estrada-Cuzcano, A., & Bautista-Ynofuente, L. (2022). Analysis and data visualization in bibliometric studies. *JLIS.It*, 13(2), Article 2. <https://doi.org/10.36253/jlis.it-461>
- Awlqadr, F. H., Altemimi, A. B., Qadir, S. A., Hama Salih, T. A., Alkanan, Z. T., AlKaisy, Q. H., Mohammed, O. A., & Hesarinejad, M. A. (2025). Emerging trends in nano-sensors: A new frontier in food safety and quality assurance. En *Heliyon* (Vol. 11, Número 1). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e41181>
- Baker, H. K., Kumar, S., & Pandey, N. (2021). Forty years of the Journal of Futures Markets: A bibliometric overview. *Journal of Futures Markets*, 41(7), 1027-1054. <https://doi.org/10.1002/fut.22211>
- Balboa, J. (2022). *METODOLOGÍA DE DETECCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE PATÓGENOS EN ALIMENTOS*. <http://crea.ujaen.es/jspui/handle/10953.1/17983>
- Balloux, F., & van Dorp, L. (2017). Q&A: What are pathogens, and what have they done to and for us? *BMC Biology*, 15(1), 91. <https://doi.org/10.1186/s12915-017-0433-z>
- Basset, C., Holton, J., O'Mahony, R., & Roitt, I. (2003). Innate immunity and pathogen–host interaction. *Vaccine*, 21, S12-S23. [https://doi.org/10.1016/S0264-410X\(03\)00195-6](https://doi.org/10.1016/S0264-410X(03)00195-6)

- Bhattacharai, P., & Hameed, S. (2020). Basics of Biosensors and Nanobiosensors. En *Nanobiosensors* (pp. 1-22). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9783527345137.ch1>
- Bintsis, T. (2017). Foodborne pathogens. *AIMS Microbiology*, 3(3), 529-563. <https://doi.org/10.3934/microbiol.2017.3.529>
- 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. En *Sensors and Actuators B: Chemical* (Vol. 347). <https://doi.org/10.1016/j.snb.2021.130630>
- Bu, T., Jia, P., Liu, J., Liu, Y., Sun, X., Zhang, M., Tian, Y., Zhang, D., Wang, J., & Wang, L. (2019). Diversely positive-charged gold nanoparticles based biosensor: A label-free and sensitive tool for foodborne pathogen detection. En *Food Chemistry: X* (Vol. 3). <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2019.100052>
- Cohen Hakmon, M., Buhnik-Rosenblau, K., Hanani, H., Korach-Rechtman, H., Mor, D., Etkin, E., & Kashi, Y. (2024). Early Detection of Food Safety and Spoilage Incidents Based on Live Microbiome Profiling and PMA-qPCR Monitoring of Indicators. *Foods*, 13(15), Article 15. <https://doi.org/10.3390/foods13152459>
- Costa, S. da, Tavares, A. P. M., Martins, G. V., Frasco, M. F., & Sales, M. G. F. (2021). Biosensors for European Zoonotic Agents: A Current Portuguese Perspective. *Sensors*, 21(13), Article 13. <https://doi.org/10.3390/s21134547>
- Derrick, P. (2022). A brief note on pathogens and its types. *International Journal of Microbiology Research and Reviews*, 11(1). <https://www.internationalscholarsjournals.com/articles/a-brief-note-on-pathogens-and-its-types.pdf>

- Dhal, S. B., & Kar, D. (2025). Leveraging artificial intelligence and advanced food processing techniques for enhanced food safety, quality, and security: A comprehensive review. *Discover Applied Sciences*, 7(1), 75. <https://doi.org/10.1007/s42452-025-06472-w>
- Dinshaw, I. J., Muniandy, S., Teh, S. J., Ibrahim, F., Leo, B. F., & Thong, K. L. (2017). Development of an aptasensor using reduced graphene oxide chitosan complex to detect Salmonella. En *Journal of Electroanalytical Chemistry* (Vol. 806, pp. 88-96). <https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2017.10.054>
- Dirpan, A., Yolanda, D. S., & Djalal, M. (2023). Is the use of biosensor in monitoring food quality experiencing an uplift trend over the last 30 years?: A bibliometric analysis. *Heliyon*, 9(8), e18977. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e18977>
- Donthu, N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N., & Lim, W. M. (2021). How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 133, 285-296. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.04.070>
- Donthu, N., Reinartz, W., Kumar, S., & Pattnaik, D. (2021). A retrospective review of the first 35 years of the International Journal of Research in Marketing. *International Journal of Research in Marketing*, 38(1), 232-269. <https://doi.org/10.1016/j.ijresmar.2020.10.006>
- Du, M., Ma, J., Zhang, Z., Wu, G., Wu, J., Wang, H., Xie, X., & Wang, C. (2023). Direct, ultrafast, and sensitive detection of environmental pathogenic microorganisms based on a graphene biosensor. En *Analytica Chimica Acta* (Vol. 1279). <https://doi.org/10.1016/j.aca.2023.341810>
- Fajardo, J. J. M., Singian, J. K., Jedrick Henricson, T., Tiu, S., & Redillas, M. C. F. (2021). Bibliometric Analysis on Biosensors and their Applications in

- Agriculture. *DLSU Senior High School Research Congress*.
https://animorepository.dlsu.edu.ph/conf_shsrescon/2021/paper_see/19
- FAO. (2023). *Early warning tools and systems for emerging issues in food safety*.
<https://openknowledge.fao.org/items/43a7d00a-2354-4594-8422-5b8a91aac767>
- Farka, Z., Juřík, T., Kovář, D., Trnková, L., & Skládal, P. (2017). Nanoparticle-Based Immunochemical Biosensors and Assays: Recent Advances and Challenges. En *Chemical Reviews* (Vol. 117, Número 15, pp. 9973-10042).
<https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.7b00037>
- Farooq, U., Yang, Q., Ullah, M. W., & Wang, S. (2018). Bacterial biosensing: Recent advances in phage-based bioassays and biosensors. En *Biosensors and Bioelectronics* (Vol. 118, pp. 204-216).
<https://doi.org/10.1016/j.bios.2018.07.058>
- Fernández, S., Marcía, J., Bu, J., Baca, Y., Chavez, V., Montoya, H., Varela, I., Ruiz, J., Lagos, S., & Ore, F. (2021). Enfermedades transmitidas por Alimentos (Etas); Una Alerta para el Consumidor. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 5(2), Article 2. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v5i2.433
- Fu, X., Sun, J., Liang, R., Guo, H., Wang, L., & Sun, X. (2021a). Application progress of microfluidics-integrated biosensing platforms in the detection of foodborne pathogens. En *Trends in Food Science and Technology* (Vol. 116, pp. 115-129). <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.07.006>
- Fu, X., Sun, J., Liang, R., Guo, H., Wang, L., & Sun, X. (2021b). Application progress of microfluidics-integrated biosensing platforms in the detection of foodborne pathogens. En *Trends in Food Science and Technology* (Vol. 116, pp. 115-129). <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.07.006>

- Gupta, R., Raza, N., Bhardwaj, S. K., Vikrant, K., Kim, K.-H., & Bhardwaj, N. (2021). Advances in nanomaterial-based electrochemical biosensors for the detection of microbial toxins, pathogenic bacteria in food matrices. En *Journal of Hazardous Materials* (Vol. 401). <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123379>
- Gupta, V. (2018). Predicting Accuracy of Valuation Multiples Using Value Drivers: Evidence from Indian Listed Firms. *Theoretical Economics Letters*, 08(05), 755-772. <https://doi.org/10.4236/tel.2018.85052>
- Hao, N., Zhang, X., Zhou, Z., Hua, R., Zhang, Y., Liu, Q., Qian, J., Li, H., & Wang, K. (2017a). AgBr nanoparticles/3D nitrogen-doped graphene hydrogel for fabricating all-solid-state luminol-electrochemiluminescence Escherichia coli aptasensors. En *Biosensors and Bioelectronics* (Vol. 97, pp. 377-383). <https://doi.org/10.1016/j.bios.2017.06.025>
- Hao, N., Zhang, X., Zhou, Z., Hua, R., Zhang, Y., Liu, Q., Qian, J., Li, H., & Wang, K. (2017b). AgBr nanoparticles/3D nitrogen-doped graphene hydrogel for fabricating all-solid-state luminol-electrochemiluminescence Escherichia coli aptasensors. En *Biosensors and Bioelectronics* (Vol. 97, pp. 377-383). <https://doi.org/10.1016/j.bios.2017.06.025>
- Hassan, M. M., Xu, Y., Sayada, J., Zareef, M., Shoaib, M., Chen, X., Li, H., & Chen, Q. (2025). Progress of machine learning-based biosensors for the monitoring of food safety: A review. *Biosensors & Bioelectronics*, 267, 116782. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2024.116782>
- He, S., Zhu, D., Chen, Y., Liu, X., Chen, Y., & Wang, X. (2020). Application and problems of energy evaluation: A systemic review based on bibliometric and content analysis methods. *Ecological Indicators*, 114, 106304. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106304>

- Hua, Z., Yu, T., Liu, D., & Xianyu, Y. (2021). Recent advances in gold nanoparticles-based biosensors for food safety detection. *Biosensors and Bioelectronics*, 179, 113076. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2021.113076>
- Huang, F., Zhang, Y., Lin, J., & Liu, Y. (2021). Biosensors Coupled with Signal Amplification Technology for the Detection of Pathogenic Bacteria: A Review. *Biosensors*, 11(6), Article 6. <https://doi.org/10.3390/bios11060190>
- Huertas-Caro, C., Urbano-Cáceres, E., & Torres-Caycedo, M. (2019). Diagnóstico molecular una alternativa para la detección de patógenos en alimentos. *Revista Habanera de Ciencias Médicas*, 18(3), 513-528.
- Hussain, W., Ullah, M. W., Farooq, U., Aziz, A., & Wang, S. (2021). Bacteriophage-based advanced bacterial detection: Concept, mechanisms, and applications. En *Biosensors and Bioelectronics* (Vol. 177). <https://doi.org/10.1016/j.bios.2021.112973>
- Inês, A., & Cosme, F. (2025). Biosensors for Detecting Food Contaminants—An Overview. *Processes*, 13(2), Article 2. <https://doi.org/10.3390/pr13020380>
- Inshyna, N. M., Chorna, I. V., Primova, L. O., Hrebenyk, L. I., & Khyzhnia, Y. V. (2020). Biosensors: Design, Classification and Application. *Journal of Nano- and Electronic Physics*, 12(3), 03033-1-03033-03039. [https://doi.org/10.21272/jnep.12\(3\).03033](https://doi.org/10.21272/jnep.12(3).03033)
- Iriawan, G., Miah, L., & Prabowo, N. K. (2024). *Global bibliometric analysis of food science and technology using Dimensions from 2014 to 2024* (SSRN Scholarly Paper No. 5005527). Social Science Research Network. <https://doi.org/10.2139/ssrn.5005527>
- Istif, E., Mirzajani, H., Dağ, Ç., Mirlou, F., Ozuaciksoz, E. Y., Cakır, C., Koydemir, H. C., Yilgor, I., Yilgor, E., & Beker, L. (2023). Miniaturized wireless sensor enables

- real-time monitoring of food spoilage. *Nature Food*, 4(5), 427-436.
<https://doi.org/10.1038/s43016-023-00750-9>
- Ivnitski, D., Abdel-Hamid, I., Atanasov, P., & Wilkins, E. (1999). Biosensors for detection of pathogenic bacteria. En *Biosensors and Bioelectronics* (Vol. 14, Número 7, pp. 599-624). [https://doi.org/10.1016/S0956-5663\(99\)00039-1](https://doi.org/10.1016/S0956-5663(99)00039-1)
- Jing, P., Pan, K., Yuan, D., Jiang, C., Wang, W., Chen, Y., Shi, Y., & Xie, J. (2021). Using bibliometric analysis techniques to understand the recent progress in school travel research, 2001–2021. *Journal of Transport & Health*, 23, 101265.
<https://doi.org/10.1016/j.jth.2021.101265>
- Kamdem, J. P., Duarte, A. E., Lima, K. R. R., Rocha, J. B. T., Hassan, W., Barros, L. M., Roeder, T., & Tsopmo, A. (2019). Research trends in food chemistry: A bibliometric review of its 40 years anniversary (1976–2016). *Food Chemistry*, 294, 448-457. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.05.021>
- Khosropour, H., Keramat, M., & Laiwattanapaisal, W. (2024). A dual action electrochemical molecularly imprinted aptasensor for ultra-trace detection of carbendazim. *Biosensors and Bioelectronics*, 243, 115754.
<https://doi.org/10.1016/j.bios.2023.115754>
- Krishnan, S. K., Singh, E., Singh, P., Meyyappan, M., & Nalwa, H. S. (2019). A review on graphene-based nanocomposites for electrochemical and fluorescent biosensors. En *RSC Advances* (Vol. 9, Número 16, pp. 8778-8781).
<https://doi.org/10.1039/c8ra09577a>
- Kulkarni, M. B., Ayachit, N. H., & Aminabhavi, T. M. (2023). Recent Advances in Microfluidics-Based Electrochemical Sensors for Foodborne Pathogen Detection. En *Biosensors* (Vol. 13, Número 2).
<https://doi.org/10.3390/bios13020246>

- Lang, Y., Zhang, B., Cai, D., Tu, W., Zhang, J., Shentu, X., Ye, Z., & Yu, X. (2023). Determination Methods of the Risk Factors in Food Based on Nanozymes: A Review. En *Biosensors* (Vol. 13, Número 1). <https://doi.org/10.3390/bios13010069>
- Lazcka, O., Campo, F. J. D., & Muñoz, F. X. (2007). Pathogen detection: A perspective of traditional methods and biosensors. En *Biosensors and Bioelectronics* (Vol. 22, Número 7, pp. 1205-1217). <https://doi.org/10.1016/j.bios.2006.06.036>
- Lee, H., Hong, Y. J., Baik, S., Hyeon, T., & Kim, D. H. (2018). Enzyme-Based Glucose Sensor: From Invasive to Wearable Device. *Advanced Healthcare Materials*, 7(8), 1-14. <https://doi.org/10.1002/adhm.201701150>
- Li, Y., Guo, C., Yuan, J., Yang, X., Ji, H., Wu, M., Wu, L., & Qin, Y. (2024). Recent advances and prospects of persistent luminescent materials in public health applications. En *Chemical Engineering Journal* (Vol. 487). <https://doi.org/10.1016/j.cej.2024.150424>
- Liang, S., Sutham, P., Wu, K., Mallikarjunan, K., & Wang, J.-P. (2022). Giant Magnetoresistance Biosensors for Food Safety Applications. *Sensors*, 22(15), Article 15. <https://doi.org/10.3390/s22155663>
- Liu, N., Bouzemrak, Y., van den Bulk, L. M., Gavai, A., van den Heuvel, L. J., & Marvin, H. J. P. (2022). Automated food safety early warning system in the dairy supply chain using machine learning. *Food Control*, 136, 108872. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2022.108872>
- Matos-Uribe, F. F., Contreras-Contreras, F., & Olaya-Guerrero, J. C. (2023). *Introducción a la bibliometría práctica*. <https://hdl.handle.net/20.500.12371/18650>

- Mei, Y., Lin, X., He, C., Zeng, W., Luo, Y., Liu, C., Liu, Z., Yang, M., Kuang, Y., & Huang, Q. (2022). Recent Progresses in Electrochemical DNA Biosensors for SARS-CoV-2 Detection. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 10. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2022.952510>
- Miguéis, S. da C., Tavares, A. P. M., Martins, G. V., Frasco, M. F., & Sales, M. G. F. (2021). Biosensors for european zoonotic agents: A current portuguese perspective. En *Sensors* (Vol. 21, Número 13). <https://doi.org/10.3390/s21134547>
- Moi, I. M., Ibrahim, Z., Abubakar, B. M., Katagum, Y. M., Abdullahi, A., Yiga, G. A., Abdullahi, B., Mustapha, I., Ali, J., Mahmud, Z., Maimusa, H., Katagum, H. O., Malami, A. M., Mustapha, A., Ayuba, I., Moi, I. M., Ibrahim, Z., Abubakar, B. M., Katagum, Y. M., ... Ayuba, I. (2022). Properties of Foodborne Pathogens and Their Diseases. En *Foodborne Pathogens—Recent Advances in Control and Detection*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.105694>
- Moreno, J. A. J., Espinoza, I. de J. C., & Ornelas, M. L. (2022). Lo cuantitativo y cualitativo como sustento metodológico en la investigación educativa: Un análisis epistemológico. *Revista humanidades*, 12(2), Article 2. <https://doi.org/10.15517/h.v12i2.51418>
- Nath, S. (2024). Advancements in food quality monitoring: Integrating biosensors for precision detection. *Sustainable Food Technology*, 2(4), 976-992. <https://doi.org/10.1039/d4fb00094c>
- Nazir, A., Ochani, S., Nazir, A., Fatima, B., Ochani, K., Hasibuzzaman, M. A., & Ullah, K. (2023). Rising trends of foodborne illnesses in the U.S.: Short communication. *Annals of Medicine and Surgery (2012)*, 85(5), 2280-2281. <https://doi.org/10.1097/MS9.0000000000000630>

- Njagi, J. I., & Kagwanja, S. M. (2011). The Interface in Biosensing: Improving Selectivity and Sensitivity. En R. Helburn & M. F. Vitha (Eds.), *ACS Symposium Series* (Vol. 1062, pp. 225-247). American Chemical Society. <https://doi.org/10.1021/bk-2011-1062.ch011>
- Oliveira, S., Sharifuzzaman, M., Moro, G., Sinibaldi, A., Altintas, Z., Kumar, S., Chiavaioli, F., & Marques, C. (2025). Advances in optical devices for the detection of contaminants in food and water. En *TrAC - Trends in Analytical Chemistry* (Vol. 184). <https://doi.org/10.1016/j.trac.2025.118139>
- Onyeaka, H., Anumudu, C. K., Okolo, C. A., Anyogu, A., Odeyemi, O., & Bassey, A. P. (2022). A review of the top 100 most cited papers on food safety. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, 14(4), Article 4. <https://doi.org/10.15586/qas.v14i4.1124>
- Ozkan, S. A., Uslu, B., & Sezgintürk, M. K. (2022). *Biosensors: Fundamentals, Emerging Technologies, and Applications*. CRC Press.
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Alonso-Fernández, S. (2021). Declaración PRISMA 2020: Una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas. *Revista Española de Cardiología*, 74(9), 790-799. <https://doi.org/10.1016/j.recesp.2021.06.016>
- Paredes, E., & Ávila, E. (2022). Evolución de los principios del Derecho Tributario en las Constituciones del Ecuador. *Revista Dilema Contemporaneos: Educación, Política y Valores*, 63(1).

<https://dilemascontemporaneoseducacionpoliticayvalores.com/index.php/dilemas/article/view/3336/3306>

- Parthasarathy, P. (2023). Electrochemical Detection of Uropathogenic *Escherichia coli* Using Polyvinylalcohol/r-Graphene Oxide/Polyethylenimine Modified Nanocomposite Electrode. En *Engineered Science* (Vol. 24). <https://doi.org/10.30919/es903>
- Peng, H., Borg, R. E., Nguyen, A. B. N., & Chen, I. A. (2020). Chimeric Phage Nanoparticles for Rapid Characterization of Bacterial Pathogens: Detection in Complex Biological Samples and Determination of Antibiotic Sensitivity. En *ACS Sensors* (Vol. 5, Número 5, pp. 1491-1499). <https://doi.org/10.1021/acssensors.0c00654>
- Polat, E. O., Cetin, M. M., Tabak, A. F., Bilget Güven, E., Uysal, B. Ö., Arsan, T., Kabbani, A., Hamed, H., & Gül, S. B. (2022). Transducer Technologies for Biosensors and Their Wearable Applications. *Biosensors*, 12(6), Article 6. <https://doi.org/10.3390/bios12060385>
- Ponce, O. A., Pagán Maldonado, N., & G. Galán, J. (2018). Investigación no experimental y generalización: Bases epistemológicas de las corrientes actuales. *IV Congreso Virtual Internacional sobre Innovación Pedagógica y Praxis Educativa INNOVAGOGÍA 2018: libro de actas. 20, 21 y 22 de marzo 2018, 2018, ISBN 978-84-09-00794-3, 223.* <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7309529>
- PRISMA. (2025). *PRISMA statement*. PRISMA Statement. <https://www.prisma-statement.org>
- Rahimizadeh, K., Zahra, Q. ul ain, Chen, S., Le, B. T., Ullah, I., & Veedu, R. N. (2023). Nanoparticles-assisted aptamer biosensing for the detection of environmental

- pathogens. En *Environmental Research* (Vol. 238).
<https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.117123>
- Ramesh, M., Janani, R., Deepa, C., & Rajeshkumar, L. (2023). Nanotechnology-Enabled Biosensors: A Review of Fundamentals, Design Principles, Materials, and Applications. *Biosensors*, 13(1), Article 1.
<https://doi.org/10.3390/bios13010040>
- Rousseau, S., & Rousseau, R. (2021). Bibliometric Techniques and Their Use in Business and Economics Research. *Journal of Economic Surveys*, 35(5), 1428-1451. <https://doi.org/10.1111/joes.12415>
- Rubia, A. (2023). *Técnicas y metodología de detección de patógenos en muestras de alimentos* [Universidad de Jaén]. <https://crea.ujaen.es/handle/10953.1/20135>
- Samani, S. S., Khojastehnezhad, A., Ramezani, M., Alibolandi, M., Yazdi, F. T., Mortazavi, S. A., Khoshbin, Z., Abnous, K., & Taghdisi, S. M. (2021). Ultrasensitive detection of micrococcal nuclease activity and *Staphylococcus aureus* contamination using optical biosensor technology-A review. En *Talanta* (Vol. 226). <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2021.122168>
- Sganzerla, W. G., & da Silva, A. P. G. (2022). Uvaia (*Eugenia pyriformis* Cambess – Myrtaceae): An overview from the origin to recent developments in the food industry – A bibliometric analysis. *Journal of Agriculture and Food Research*, 10, 100369. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100369>
- Song, D., Han, X., Xu, W., Liu, J., Zhuo, Y., Zhu, A., & Long, F. (2023). Target nucleic acid amplification-free detection of *Escherichia coli* O157:H7 by CRISPR/Cas12a and hybridization chain reaction based on an evanescent wave fluorescence biosensor. En *Sensors and Actuators B: Chemical* (Vol. 376). <https://doi.org/10.1016/j.snb.2022.133005>

- Soni, D. K., Ahmad, R., & Dubey, S. K. (2018). Biosensor for the detection of *Listeria monocytogenes*: Emerging trends. En *Critical Reviews in Microbiology* (Vol. 44, Número 5, pp. 590-608). <https://doi.org/10.1080/1040841X.2018.1473331>
- Sun, H., Zhang, X., Ma, H., Zhang, L., Zhang, Y., Sun, R., Zheng, H., Wang, H., Guo, J., Liu, Y., wang, Y., & Qi, Y. (2024). A programmable sensitive platform for pathogen detection based on CRISPR/Cas12a -hybridization chain reaction-poly T-Cu. En *Analytica Chimica Acta* (Vol. 1317). <https://doi.org/10.1016/j.aca.2024.342888>
- Utami, R. G., Faridah, A., Holinesti, R., Chairani, V. S., Mustika, S., Putra, A., & Yasih, F. (2024). Molecular Based Foodborne Pathogen Detection Techniques; A Bibliometric Computational Analysis. *The Indonesian Journal of Computer Science*, 13(4), Article 4. <https://doi.org/10.33022/ijcs.v13i4.4355>
- Valente, B., Pinto, H., Pereira, T. S., & Campos, R. (2024a). Exploring Biosensors' Scientific Production and Research Patterns: A Bibliometric Analysis. *Sensors*, 24(10), Article 10. <https://doi.org/10.3390/s24103082>
- Valente, B., Pinto, H., Pereira, T. S., & Campos, R. (2024b). Exploring Biosensors' Scientific Production and Research Patterns: A Bibliometric Analysis. *Sensors*, 24(10), Article 10. <https://doi.org/10.3390/s24103082>
- Wang, X., Zhou, J., & Wang, H. (2024). Bioreceptors as the key components for electrochemical biosensing in medicine. *Cell Reports Physical Science*, 5(2), 101801. <https://doi.org/10.1016/j.xcrp.2024.101801>
- Wang, Y., Jia, K., & Lin, J. (2024). Optical biosensors for the detection of foodborne pathogens: Recent development and future prospects. En *TrAC - Trends in Analytical Chemistry* (Vol. 177). <https://doi.org/10.1016/j.trac.2024.117785>

- Wasiewska, L. A., Juska, V. B., Seymour, I., Burgess, C. M., Duffy, G., & O’Riordan, A. (2023). Electrochemical nucleic acid-based sensors for detection of *Escherichia coli* and Shiga toxin-producing *E. coli*—Review of the recent developments. En *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* (Vol. 22, Número 3, pp. 1839-1863). <https://doi.org/10.1111/1541-4337.13132>
- Wen, J., Ren, L., He, Q., Bao, J., Zhang, X., Pi, Z., & Chen, Y. (2023). Contamination-free V-shaped ultrafast reaction cascade transferase signal amplification driven CRISPR/Cas12a magnetic relaxation switching biosensor for bacteria detection. En *Biosensors and Bioelectronics* (Vol. 219). <https://doi.org/10.1016/j.bios.2022.114790>
- Wu, T., Yagati, A. K., & Min, J. (2023). Electrochemical Detection of Different Foodborne Bacteria for Point-of-Care Applications. En *Biosensors* (Vol. 13, Número 6). <https://doi.org/10.3390/bios13060641>
- Xing, G., Zhang, W., Li, N., Pu, Q., & Lin, J.-M. (2022). Recent progress on microfluidic biosensors for rapid detection of pathogenic bacteria. En *Chinese Chemical Letters* (Vol. 33, Número 4, pp. 1743-1751). <https://doi.org/10.1016/j.ccllet.2021.08.073>
- Xu, Y., Hassan, M. M., Sharma, A. S., Li, H., & Chen, Q. (2023). Recent advancement in nano-optical strategies for detection of pathogenic bacteria and their metabolites in food safety. En *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* (Vol. 63, Número 4, pp. 486-504). <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1950117>
- Xu, Z., Elomri, A., Kerbache, L., & El Omri, A. (2020). Impacts of COVID-19 on Global Supply Chains: Facts and Perspectives. *IEEE Engineering Management Review*, 48(3), 153-166. <https://doi.org/10.1109/EMR.2020.3018420>

- Yu, H., Guo, W., Lu, X., Xu, H., Yang, Q., Tan, J., & Zhang, W. (2021). Reduced graphene oxide nanocomposite based electrochemical biosensors for monitoring foodborne pathogenic bacteria: A review. En *Food Control* (Vol. 127). <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108117>
- Yussof, N., Mohd, Y., Jalil, M., Chin, L., & Zaid, Z. (2022). Bibliometric analysis on nanoparticle modified screen-printed carbon electrode for E.coli detection using scopus database. *International Journal of Biosensors & Bioelectronics, Volume 8*(Issue 1). <https://doi.org/10.15406/ijbsbe.2022.08.00227>
- Zhang, F., Xu, W., Deng, Z., & Huang, J. (2025). A bibliometric and visualization analysis of electrochemical biosensors for early diagnosis of eye diseases. *Frontiers in Medicine, 11*. <https://doi.org/10.3389/fmed.2024.1487981>
- Zhang, X., Zhou, L. Y., & Zheng, H. G. (2018). Trends on rapid detection technology of food microorganisms based on web of science database. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 439*(3), 032125. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/439/3/032125>
- Zheng, J., Li, J., Lin, T., Ren, Z., Wang, F., Shi, Z., Yu, H., Jiang, W., & Tang, W. (2024). Amplification-free and label-free rapid detection of *Staphylococcus aureus* using solution-gated graphene transistor-based DNA biosensor with hybridization enhancement by interface engineering. En *Chemical Engineering Journal* (Vol. 495). <https://doi.org/10.1016/j.cej.2024.153329>
- Zheng, Y., Karimi-Maleh, H., & Fu, L. (2022). Advances in Electrochemical Techniques for the Detection and Analysis of Genetically Modified Organisms: An Analysis Based on Bibliometrics. *Chemosensors, 10*(5). Scopus. <https://doi.org/10.3390/chemosensors10050194>

- Zhou, B., Ye, Q., Li, F., Xiang, X., Shang, Y., Wang, C., Shao, Y., Xue, L., Zhang, J., Wang, J., Ding, Y., Chen, M., & Wu, Q. (2022). CRISPR/Cas12a based fluorescence-enhanced lateral flow biosensor for detection of *Staphylococcus aureus*. En *Sensors and Actuators B: Chemical* (Vol. 351). <https://doi.org/10.1016/j.snb.2021.130906>
- Zhu, F., Bian, X., Zhang, H., Wen, Y., Chen, Q., Yan, Y., Li, L., Liu, G., & Yan, J. (2021). Controllable design of a nano-bio aptasensing interface based on tetrahedral framework nucleic acids in an integrated microfluidic platform. En *Biosensors and Bioelectronics* (Vol. 176). <https://doi.org/10.1016/j.bios.2020.112943>
- Zhu, J., Wang, B., Zhang, Y., Wei, T., & Gao, T. (2023). Living electrochemical biosensing: Engineered electroactive bacteria for biosensor development and the emerging trends. *Biosensors and Bioelectronics*, 237, 115480. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2023.115480>

ANEXOS

Anexo 1. Lista de verificación PRISMA 2020

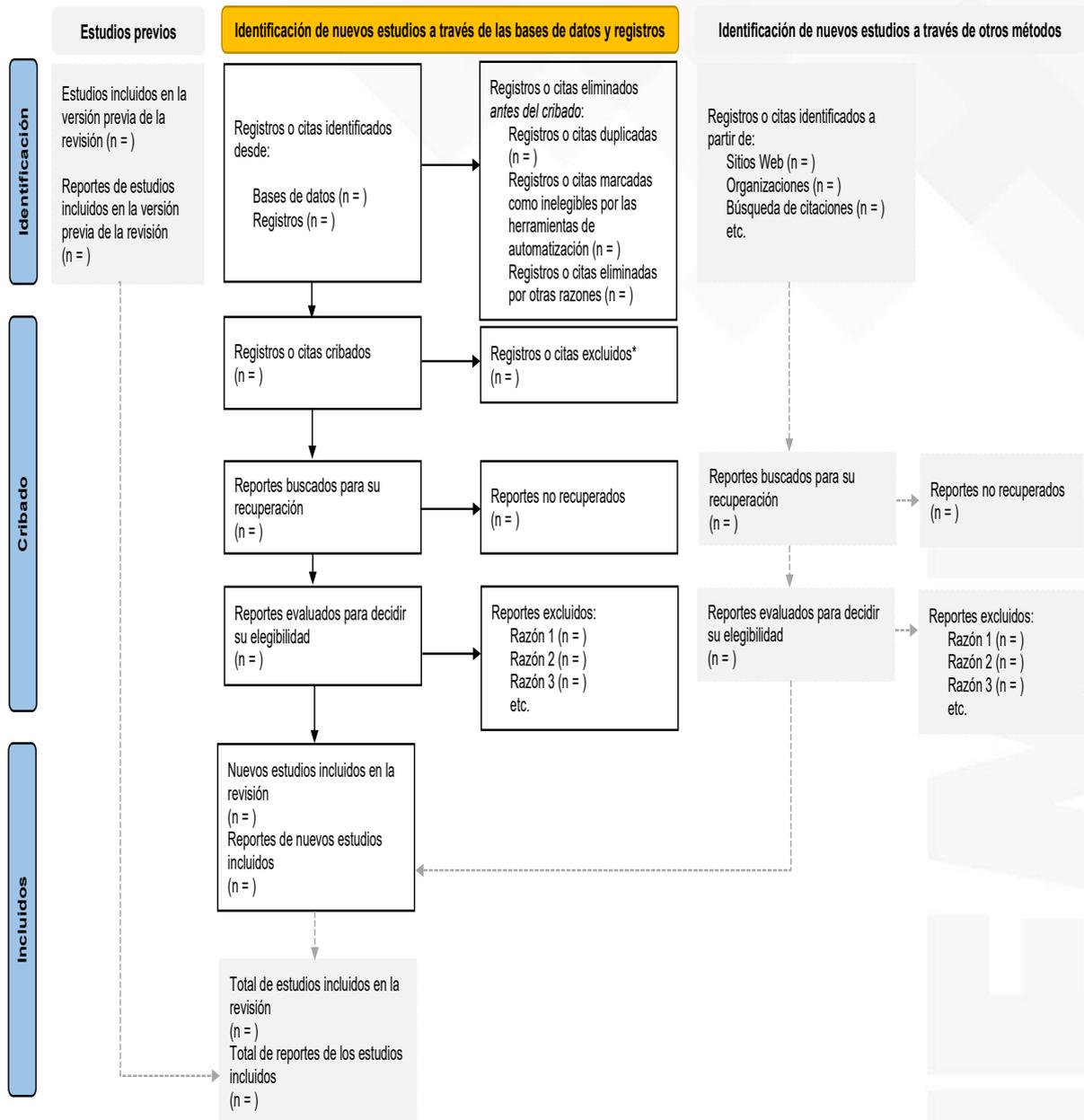
Sección/Tema	Ítem n.º	Ítem de la lista de verificación	Localización del ítem en el reporte
TÍTULO			
Título	1	Identifique el reporte como una revisión sistemática.	
RESUMEN			
Resumen estructurado	2	Vea la lista de verificación para resúmenes estructurados de la declaración PRISMA 2020 (Tabla 2).	
INTRODUCCIÓN			
Justificación	3	Describa la justificación de la revisión en el contexto del conocimiento existente.	
Objetivos	4	Proporcione una declaración explícita de los objetivos o las preguntas que aborda la revisión.	
MÉTODOS			
Criterios de elegibilidad	5	Especifique los criterios de inclusión y exclusión de la revisión y cómo se agruparon los estudios para la síntesis.	
Fuentes de información	6	Especifique todas las bases de datos, registros, sitios web, organizaciones, listas de referencias y otros recursos de búsqueda o consulta para identificar los estudios. Especifique la fecha en la que cada recurso se buscó o consultó por última vez.	
Estrategia de búsqueda	7	Presente las estrategias de búsqueda completas de todas las bases de datos, registros y sitios web, incluyendo cualquier filtro y los límites utilizados.	
Proceso de selección de los estudios	8	Especifique los métodos utilizados para decidir si un estudio cumple con los criterios de inclusión de la revisión, incluyendo cuántos autores de la revisión cribaron cada registro y cada reporte recuperado, si trabajaron de manera independiente y, si procede, los detalles de las herramientas de automatización utilizadas en el proceso.	
Proceso de extracción de los datos	9	Indique los métodos utilizados para extraer los datos de los informes o reportes, incluyendo cuántos revisores recopilaron datos de cada reporte, si trabajaron de manera independiente, los procesos para obtener o confirmar los datos por parte de los investigadores del estudio y, si procede, los detalles de las herramientas de automatización utilizadas en el proceso.	
Lista de los datos	10a	Enumere y defina todos los desenlaces para los que se buscaron los datos. Especifique si se buscaron todos los resultados compatibles con	

		<p>cada dominio del desenlace (por ejemplo, para todas las escalas de medida, puntos temporales, análisis) y, de no ser así, los métodos utilizados para decidir los resultados que se debían recoger.</p>
	10b	<p>Enumere y defina todas las demás variables para las que se buscaron datos (por ejemplo, características de los participantes y de la intervención, fuentes de financiación). Describa todos los supuestos formulados sobre cualquier información ausente (<i>missing</i>) o incierta.</p>
Evaluación del riesgo de sesgo de los estudios individuales	11	<p>Especifique los métodos utilizados para evaluar el riesgo de sesgo de los estudios incluidos, incluyendo detalles de las herramientas utilizadas, cuántos autores de la revisión evaluaron cada estudio y si trabajaron de manera independiente y, si procede, los detalles de las herramientas de automatización utilizadas en el proceso.</p>
Medidas del efecto	12	<p>Especifique, para cada desenlace, las medidas del efecto (por ejemplo, razón de riesgos, diferencia de medias) utilizadas en la síntesis o presentación de los resultados.</p>
Métodos de síntesis	13a	<p>Describa el proceso utilizado para decidir qué estudios eran elegibles para cada síntesis (por ejemplo, tabulando las características de los estudios de intervención y comparándolas con los grupos previstos para cada síntesis (ítem n.º 5).</p>
	13b	<p>Describa cualquier método requerido para preparar los datos para su presentación o síntesis, tales como el manejo de los datos perdidos en los estadísticos de resumen o las conversiones de datos.</p>
	13c	<p>Describa los métodos utilizados para tabular o presentar visualmente los resultados de los estudios individuales y su síntesis.</p>
	13d	<p>Describa los métodos utilizados para sintetizar los resultados y justifique sus elecciones. Si se ha realizado un metaanálisis, describa los modelos, los métodos para identificar la presencia y el alcance de la heterogeneidad estadística, y los programas informáticos utilizados.</p>
	13e	<p>Describa los métodos utilizados para explorar las posibles causas de heterogeneidad entre los resultados de los estudios (por ejemplo, análisis de subgrupos, metarregresión).</p>
	13f	<p>Describa los análisis de sensibilidad que se hayan realizado para evaluar la robustez de los resultados de la síntesis.</p>
Evaluación del sesgo en el reporte	14	<p>Describa los métodos utilizados para evaluar el riesgo de sesgo debido a resultados faltantes en</p>

		una síntesis (derivados de los sesgos en los reportes).
Evaluación de la certeza de la evidencia	15	Describa los métodos utilizados para evaluar la certeza (o confianza) en el cuerpo de la evidencia para cada desenlace.
RESULTADOS		
Selección de los estudios	16a	Describa los resultados de los procesos de búsqueda y selección, desde el número de registros identificados en la búsqueda hasta el número de estudios incluidos en la revisión, idealmente utilizando un diagrama de flujo (ver Figura 1).
	16b	Cite los estudios que aparentemente cumplían con los criterios de inclusión, pero que fueron excluidos, y explique por qué fueron excluidos.
Características de los estudios	17	Cite cada estudio incluido y presente sus características.
Riesgo de sesgo de los estudios individuales	18	Presente las evaluaciones del riesgo de sesgo para cada uno de los estudios incluidos.
Resultados de los estudios individuales	19	Presente, para todos los desenlaces y para cada estudio: a) los estadísticos de resumen para cada grupo (si procede) y b) la estimación del efecto y su precisión (por ejemplo, intervalo de credibilidad o de confianza), idealmente utilizando tablas estructuradas o gráficos.
Resultados de la síntesis	20a	Para cada síntesis, resuma brevemente las características y el riesgo de sesgo entre los estudios contribuyentes.
	20b	Presente los resultados de todas las síntesis estadísticas realizadas. Si se ha realizado un metaanálisis, presente para cada uno de ellos el estimador de resumen y su precisión (por ejemplo, intervalo de credibilidad o de confianza) y las medidas de heterogeneidad estadística. Si se comparan grupos, describa la dirección del efecto.
	20c	Presente los resultados de todas las investigaciones sobre las posibles causas de heterogeneidad entre los resultados de los estudios.
	20d	Presente los resultados de todos los análisis de sensibilidad realizados para evaluar la robustez de los resultados sintetizados.
Sesgos en el reporte	21	Presente las evaluaciones del riesgo de sesgo debido a resultados faltantes (derivados de los sesgos del reporte) para cada síntesis evaluada.
Certeza de la evidencia	22	Presente las evaluaciones de la certeza (o confianza) en el cuerpo de la evidencia para cada desenlace evaluado.
DISCUSIÓN		

Discusión	23a	Proporcione una interpretación general de los resultados en el contexto de otras evidencias.
	23b	Argumente las limitaciones de la evidencia incluida en la revisión.
	23c	Argumente las limitaciones de los procesos de revisión utilizados.
	23d	Argumente las implicaciones de los resultados para la práctica, las políticas y las futuras investigaciones.
OTRA INFORMACIÓN		
Registro y protocolo	24a	Proporcione la información del registro de la revisión, incluyendo el nombre y el número de registro, o declare que la revisión no ha sido registrada.
	24b	Indique dónde se puede acceder al protocolo, o declare que no se ha redactado ningún protocolo.
	24c	Describa y explique cualquier enmienda a la información proporcionada en el registro o en el protocolo.
Financiación	25	Describa las fuentes de apoyo financiero o no financiero para la revisión y el papel de los financiadores o patrocinadores en la revisión.
Conflicto de intereses	26	Declare los conflictos de intereses de los autores de la revisión.
Disponibilidad de datos, códigos y otros materiales	27	Especifique qué elementos de los que se indican a continuación están disponibles al público y dónde se pueden encontrar: plantillas de formularios de extracción de datos, datos extraídos de los estudios incluidos, datos utilizados para todos los análisis, código de análisis, cualquier otro material utilizado en la revisión.

Anexo 2. Flujograma PRISMA 2020



UNEMI

UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

¡Evolución académica!

@UNEMIEcuador

