

Una revisión bibliográfica sobre métodos de detección de coliformes en fuentes de agua: Avances recientes a nivel internacional

A literature review on coliform detection methods in water sources: Recent international developments

Uma revisão da literatura sobre métodos de detecção de coliformes em fontes de água: Desenvolvimentos internacionais recentes

Rocio Jara-Vilca¹

DOI: <https://doi.org/10.55996/dekamuagropec.v4i1.145>

RESUMEN

El consumo de agua contaminada, especialmente por coliformes totales causa múltiples enfermedades intestinales, siendo en la actualidad un problema latente. En ese sentido, el objetivo de la investigación fue analizar los métodos de detección para el análisis microbiológico de agua a nivel internacional. La revisión bibliográfica se realizó en base a datos de Centro Nacional para la Información Biotecnológica (NCBI), Literatura Latinoamericana y del Caribe en Ciencias de la Salud (LILACS) y Scopus, desde el año 2012 a diciembre del 2022. El análisis de datos, se realizó de acuerdo a los artículos seleccionados y a su procedencia. Las redes de coautoría se realizaron con el software VOSviewer. Los resultados muestran que los estudios basados en métodos de análisis de calidad de agua empezaron a sobresalir durante los años 2021 y el País donde se desarrolló con mayor énfasis la investigación fue Estados Unidos. Se concluye que los métodos moleculares son una buena alternativa para análisis de calidad de agua, porque son rápidos y específicos.

Palabras claves: Métodos de detección, coliformes totales y calidad de agua.

ABSTRACT

The consumption of contaminated water, especially total coliforms, causes multiple intestinal diseases and is currently a latent problem. In this sense, the objective of the research was to analyze the detection methods for microbiological analysis of water at international level. The literature review was conducted based on data from the National Center for Biotechnology Information (NCBI), Latin American and Caribbean Literature on Health Sciences (LILACS) and Scopus, from 2012 to December 2022. Data analysis was performed according to the selected articles and their origin. Co-authorship networks were performed with VOSviewer software. The results show that studies based on water quality analysis methods began to stand out during the years 2021 and the country where research was developed with greater emphasis was the United States. It is concluded that molecular methods are a good alternative for water quality analysis because they are fast and specific.

Keywords: Detection methods, total coliforms and water quality.

¹Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM), Perú;

RESUMO

O consumo de água contaminada, especialmente de coliformes totais, provoca múltiplas doenças intestinais e é atualmente um problema latente. Neste sentido, o objetivo da investigação foi analisar os métodos de detecção para a análise microbiológica da água a nível internacional. A revisão da literatura foi realizada com base em dados do National Center for Biotechnology Information (NCBI), Literatura Latino-Americana e do Caribe em Ciências da Saúde (LILACS) e Scopus, de 2012 a dezembro de 2022. A análise dos dados foi realizada de acordo com os artigos selecionados e sua procedência. As redes de coautoria foram realizadas utilizando o software VOSviewer. Os resultados mostram que os estudos baseados em métodos de análise da qualidade da água começaram a se destacar durante os anos de 2021 e o país onde as pesquisas foram desenvolvidas com maior ênfase foram os Estados Unidos. Conclui-se que os métodos moleculares são uma boa alternativa para análise da qualidade da água por serem rápidos e específicos.

Palavras-chave: Métodos de detecção, coliformes totais e qualidade da água.

INTRODUCCIÓN

Los microorganismos que se encuentran con mayor frecuencia en el agua son las bacterias entéricas que colonizan el tracto gastrointestinal del hombre y son eliminadas a través de materia fecal (CYTED, 2019). El consumo de agua infectada por estos microorganismos causa infecciones intestinales (Nurliyana et al., 2018). Como indicadores de calidad del agua, se encuentra el grupo de coliformes totales (Fusco, 2010).

La detección y enumeración de la bacteria coliforme por métodos convencionales generalmente requiere una larga duración para obtener resultados, ya que normalmente se utilizan procesos de enriquecimiento basadas en el uso de medios de cultivo en el laboratorio (Amidoun, 2007). Sin embargo, se han desarrollado técnicas más rápidas para análisis microbiológico en aguas, tales como métodos moleculares que son sensibles, rápidas y específicas (Mendes & Domingues, 2015), las cuales se pueden automatizar; estos métodos emergentes ofrecen la posibilidad de identificar los patógenos incluidos cepas nuevas y emergentes (Girones et al., 2010). Así en la actualidad se habla de dispositivos con biosensores portátiles, altamente sensibles para detectar una concentración extremadamente baja de bacterias coliformes en muestras de agua (Nuriyana et al., 2018).

Con base a lo mencionado, el objetivo de la investigación fue analizar las fuentes bibliográficas desde el año 2012 hasta el año 2022 basadas en métodos de detección de coliformes en fuentes de agua.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó mediante la revisión de artículos en la base de datos del Centro Nacional para la Información Biotecnológica (NCBI), Medicina Bioelectrónica (BMC) y Scopus, por ser la fuente de

dato de citas y resúmenes de bibliografía revisada por pares con mayor impacto (Md Khudzari et al., 2018). La búsqueda se realizó desde el año 2012 al 2022 utilizando la técnica por rangos (Salaz, 2019); la búsqueda se limitó a artículos en inglés publicadas a nivel internacional. Mediante la técnica de las palabras claves (Salaz, 2019). Además, se obtuvo una recolección de información exitosa a través de la utilización de las palabras “métodos de detección de coliformes” y “métodos de detección moleculares de bacterias en agua”.

En la búsqueda se consideró estudios realizados en métodos de detección de coliformes en agua; se encontraron 250 artículos, de los cuales solo 46 artículos cumplieron con los objetivos planteados del estudio. Así mismo se adoptó la técnica de la revisión para cada artículo principalmente delimitado autor/año.

Análisis de datos

Los análisis descriptivos asociado a evolución de publicaciones por países se realizaron con software Excel. Para los gráficos de análisis de coocurrencia de palabras clave, se construyeron mapas de red utilizando el método de "recuento completo" del software VOSviewer v.1.6.17 (Silva et al., 2022).

RESULTADOS

Figura 1, muestra la cantidad de artículos publicados por países, de acuerdo al tema de interés, donde Estados Unidos es el país que lidera con 26 artículos para el año 2021, evidenciando mayores publicaciones sobre métodos de detección de coliformes en agua.

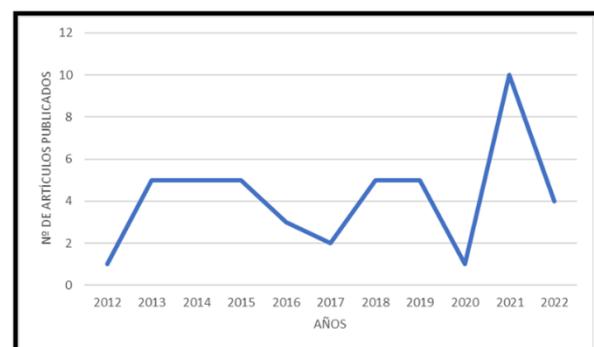


Figura 1. Evolución de artículos por año

Figura 2, se muestra el mapa de red de co-autorías de los artículos relacionado a métodos de detección de coliformes en agua. El tamaño del círculo representa la cantidad de co-autorías. cuanto menor es la distancia entre los círculos, mayor es el número de co-autorías.

Tabla 1, se muestra los resultados de los 46 artículos seleccionados donde se evidencia que en los estudios realizados han evaluado los métodos de detección de coliformes en agua. Así mismo, en la mayoría de estudios, mencionan que los métodos moleculares es una alternativa viable para detección de microorganismos en fuentes de agua. Se observa que Estados Unidos es el país que lidera en estudios de métodos moleculares para detectar bacterias en agua.

DISCUSIÓN

Del análisis de la literatura se evidenció que la producción científica para los países evaluados se está incrementando durante los años 2012 al 2022. Así mismo, Estados Unidos lidera en investigaciones relacionadas a métodos de detección de coliformes totales en agua. Los métodos convencionales son confiables, pero se necesita por lo menos una semana para obtener los resultados de calidad de agua; además se utilizan equipos costosos, y necesita realizar procesos largos de enriquecimiento bacteriano (Khan, 2020). El mecanismo subyacente para la medición de *E. coli* propuesta es el proceso de difusión pasiva de la MUG y el GUD suspendido en la gelatina, formando el producto de fluorescencia azul 4MU en los canales dándonos resultados positivos de lectura a través de un teléfono inteligente y luz ultravioleta (Treebupachatsakul, 2022). Pero también las proteínas químicas (ba GFP-hadrurina y GFP-pb5) fallaron con respecto a la especificidad y/o sensibilidad, la proteína quimera (GFP-colS4) fue capaz de realizar una detección específica de *E. coli* en muestras de

agua potable en un procedimiento que abarcó unos 8 min para el resultado final, esta proteína biosensora fue capaz de detectar de forma lineal entre 20 y 103 UFC de esta bacteria. Por debajo de 20 UFC, el sistema no puede diferenciar la presencia o ausencia de la bacteria objetivo (Guitiérrez, 2018), pero el modelo de qPCR tuvo una precisión del 92 y el 96 % con los umbrales de 110 y 1000 equivalentes de células (CE)/100 ml, respectivamente, y el modelo de cultivo tuvo una precisión del 90 % en las decisiones de gestión con el umbral de 110 MPN/100 ml (Gonzales, 2014).

Los métodos convencionales como del concentrador son comparable al método de filtración por membrana para analizar la calidad microbiológica del agua del arroyo y del agua recolectada del techo (Yin, 2018). Sin embargo, se demora mucho tiempo para obtener resultados. Por ende, los métodos moleculares y los biosensores son una alternativa viable para análisis en campo de bacterias indicadoras de calidad de agua (Wolf, 2019).

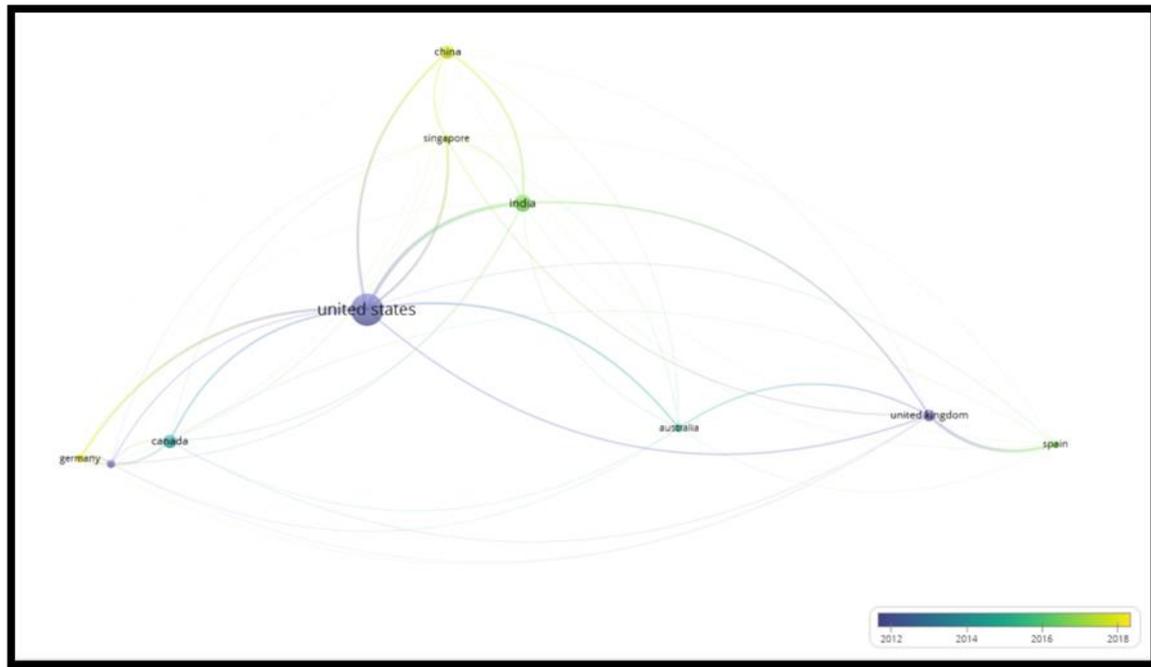


Figura 2. Red de coautoría durante el año 2012 al 2022

Tabla 1. Características de los estudios seleccionados durante la revisión

Autores	Título	Resultado resaltante	Año
McMahan L., Grunden A.M., Devine A.A., Sobsey M.D.	Evaluation of a quantitative H2S MPN test for fecal microbes analysis of water using biochemical and molecular identification	Documentan aún la validez de la prueba H(2)S para detectar y cuantificar la contaminación fecal del agua	2012
Wandermur G.L., Rodrigues D.M.C., Queiroz V.M., Gonçalves M.N., Miguel M.A.L., Werneck M.M., Allil R.C.S.B.	Development of an immunosensor of plastic optical fiber for detection of microorganisms in water and environmental monitoring	El sistema es capaz de detectar pequeños cambios en el índice de refracción en el medio externo, variando la intensidad luminosa del biosensor al contacto con suspensiones de <i>Escherichia coli</i> a diferentes concentraciones.	2013
Nagalambika C., Murthy S.M.	Revalidation of testing methods for assessing microbial safety of groundwater	El estudio recomendó que donde haya instalaciones de laboratorio, se deben realizar pruebas MFT y MTFT, sin embargo, en campos y en aldeas H2 rápido y barato. La prueba S debe usarse para la detección de contaminación fecal en agua potable, para lugares donde el tiempo, el personal y las instalaciones de laboratorio son muy deficientes.	2013
Sbodio A., Maeda S., Lopez-Velasco G., Suslow T.V.	Modified Moore swab optimization and validation in capturing <i>E. Coli</i> O157: H7 and <i>Salmonella enterica</i> in large volume field samples of irrigation water	El enfoque del sistema MMS logró atrapar el microorganismo objetivo en grandes volúmenes de agua, en un rango de turbidez del agua natural y densidades de coliformes totales autóctonos y en poblaciones de <i>E. coli</i> .	2013

Durso L.M.	Primary isolation of shiga toxigenic escherichia coli from environmental sources	Medios cromogénicos, como CHROMagar modificado, han demostrado ser útiles en aplicaciones de campo y brotes, lo que permite distinguir el objetivo de la numerosa flora de fondo.	2013
Kim T., Han J.-I.	Fast detection and quantification of Escherichia coli using the base principle of the microbial fuel cell	Los DT de las muestras de laboratorio fueron 140 min y 560 min para concentraciones iniciales de 1.9×10^7 CFU/mL y 42 CFU/mL a 44,5 °C. Además, los DT para los ensayos de GUS se acortaron aún más mediante la inducción con sal sódica de metil β -D-glucurónido (MetGlu)	2013
Gonzalez R.A., Noble R.T.	Comparisons of statistical models to predict fecal indicator bacteria concentrations enumerated byqPCR- and culture-based methods	El modelo de qPCR tuvo una precisión del 92 y el 96 % con los umbrales de 110 y 1000 equivalentes de células (CE)/100 ml, respectivamente, y el modelo de cultivo tuvo una precisión del 90 % en las decisiones de gestión con el umbral de 110 MPN/100 ml.	2014
Stauber C., Miller C., Cantrell B., Kroell K.	Evaluation of the compartment bag test for the detection of Escherichia coli in water	La sensibilidad y la especificidad fueron 94.9% y 96.6%, respectivamente	2014
Loff M., Mare L., De Kwaadsteniet M., Khan W.	3M™ Molecular Detection system versus MALDI-TOF mass spectrometry and molecular techniques for the identification of Escherichia coli O157: H7, Salmonella spp. & Listeria spp	Detección Molecular de 3M™. MALDI-TOF MS, que es un método de detección simple, preciso y rentable, identificó de manera eficiente los organismos.	2014
Bari M.L., Yeasmin S.	Water Quality Assessment: Modern Microbiological Techniques	Es necesario lograr una mejor comprensión del papel y la utilidad de los parámetros tradicionales y nuevos para el monitoreo, de los métodos disponibles para su análisis y de la información necesaria para iniciar acciones correctivas y preventivas apropiadas.	2014
Gomi R., Matsuda T., Matsui Y., Yoneda M.	Fecal source tracking in water by next-generation sequencing technologies using host-specific escherichia coli genetic markers	La combinación de PCR multiplex y secuenciación de índice dual es efectiva para detectar múltiples marcadores genéticos en múltiples aislamientos al mismo tiempo.	2014
Nicolini A.M., Fronczek C.F., Yoon J.-Y.	Droplet-based immunoassay on a 'sticky' nanofibrous surface for multiplexed and dual detection of bacteria using smartphones	Usando fuentes de luz apropiadas guiadas por fibra óptica, determinamos un límite de detección de 10(2) CFU mL(-1)	2015
Saxena T., Kaushik P., Krishna Mohan M.	Prevalence of E. coli O157: H7 in water sources: An overview on associated diseases, outbreaks and detection methods	PCR en tiempo real, son más específicas y sensibles y requieren menos tiempo de detección (<3 horas).	2015

Nigam V.K., Shukla P.	Enzyme based biosensors for detection of environmental pollutants-A review	Los biosensores son ideales para la detección y medición de la contaminación ambiental de manera confiable, específica y sensible.	2015
Bridgeman J., Baker A., Brown D., Boxall J.B.	Portable LED fluorescence instrumentation for the rapid assessment of potable water quality	Se observó una excelente correlación entre el nuevo dispositivo y un espectrofotómetro de investigación ($r_2 = 0.98$ y 0.77 para los picos C y T respectivamente)	2015
Ramasamy M., Yi D.K., An S.S.A.	Enhanced detection sensitivity of <i>Escherichia coli</i> 0157:H7 using surface-modified gold nanorods	los AuNR recubiertos de sílice favorecieron el crecimiento de bacterias y también aumentaron la actividad de la peroxidasa de membrana.	2015
Shaibani P.M., Jiang K., Haghghat G., Hassanpourfard M., Etayash H., Naicker S., Thundat T.	The detection of <i>Escherichia coli</i> (E. coli) with the pH sensitive hydrogel nanofiber-light addressable potentiometric sensor (NF-LAPS).	Una respuesta supernernstiana de un cambio de 74 mV/pH en el NF-LAPS proporciona una alta sensibilidad hacia E. coli con un límite teórico de detección (LOD) de 20 CFU/ml	2016
Yang X., Yang K., Luo Y., Fu W.	Terahertz spectroscopy for bacterial detection: opportunities and challenges	La espectroscopia de terahercios (THz = $10(12) \text{ Hz}$) también ha mostrado potencial como una nueva modalidad de detección bacteriana debido a sus ventajas únicas.	2016
Eltzov E., Marks R.S.	Miniaturized Flow Stacked Immunoassay for Detecting <i>Escherichia coli</i> in a Single Step	El complejo analito/anticuerpo-HRP generará una señal en contacto con <i>Escherichia coli</i> , después de la optimización, la sensibilidad de nuestro inmunoensayo se ajustó a $100 \text{ células mL}^{-1}$	2016
Kheiri R., Ranjbar R., Memariani M., Akhtari L.	Multiplex PCR for detection of water-borne bacteria	cebadores mostraron especificidades solo para sus organismos diana correspondientes. La sensibilidad de detección de ambos ensayos de PCR multiplex fue de $3 \times 10^2 - 3 \times 10^3$ unidades formadoras de colonias.	2017
Gunda N.S.K., Dasgupta S., Mitra S.K.	DipTest: A litmus test for E. coli detection in water	Se ha observado que los diferentes contaminantes que interfieren no tienen ningún impacto en el DipTest, y puede convertirse en una solución potencial para detectar E. coli contaminación en el punto de origen.	2017
Gutiérrez-del-Río I., Marín L., Fernández J., Millán M.Á.S., Ferrero F.J., Valledor M., Campo J.C., Cobián N., Méndez I., Lombó F.	Development of a biosensor protein bullet as a fluorescent method for fast detection of <i>Escherichia coli</i> in drinking water	Dos de las proteínas quiméricas (ba GFP-hadrurina y GFP-pb5) fallaron con respecto a la especificidad y/o sensibilidad, pero la proteína quimera (GFP-coliS4) fue capaz de realizar una detección específica de E. coli en muestras de agua potable en un procedimiento que abarcó unos 8 min para el resultado final; esta proteína biosensora fue capaz de detectar de forma lineal entre 20 y 10^3 UFC de esta bacteria. Por debajo de 20 UFC , el sistema no puede diferenciar	2018

		la presencia o ausencia de la bacteria objetivo.	
Ozeh U.O., Nnanna A.G.A., Ndukaife J.C.	Coupling immunofluorescence and optoelectrokinetic technique for Escherichia coli detection and quantification in water	Este método tiene el potencial de aislar con sensibilidad <i>E. coli</i> de una gran cantidad de contaminantes orgánicos e inorgánicos en el agua en menos de 4 horas	2018
Yin H.-B., Patel J.	Comparison of methods to determine the microbial quality of alternative irrigation waters	El método del concentrador es comparable al método de filtración por membrana para analizar la calidad microbiológica del agua del arroyo y del agua recolectada del techo.	2018
Wu G., Meyyappan M., Lai K.W.C.	Simulation of graphene field-effect transistor biosensors for bacterial detection	La distancia grafeno-bacteria más corta y la concentración bacteriana más alta dan lugar a un mejor rendimiento de detección (mayor ΔI_{ds}) de los biosensores G-FET.	2018
Malec A., Kokkinis G., Haiden C., Giouroudi I.	Biosensing system for concentration quantification of magnetically labeled <i>e. Coli</i> in water samples	Los MLB serán más lentos que los MP de referencia debido a la fuerza de arrastre de Stokes mejorada que se ejerce sobre ellos, como resultado de su mayor volumen y forma hidrodinámica alterada.	2018
Lacey R.F., Ye D., Ruffing A.M.	Engineering and characterization of copper and gold sensors in Escherichia coli and Synechococcus sp. PCC 7002	La respuesta de fluorescencia de los sensores de cianobacterias al oro se redujo significativamente en comparación con la de <i>E. coli</i> análoga	2019
Loo A., Bivins A., John V., Becker S., Evanchec S., George A., Hernandez V., Mullaney J., Tolentino L., Yoo R., Nagarnaik P., Labhasetwar P., Brown J.	Development and field testing of low-cost, quantal microbial assays with volunteer reporting as scalable means of drinking water safety estimation	Las pruebas pueden proporcionar una alternativa convincente a los métodos estándar para evaluaciones rápidas de la calidad del agua,	2019
Han E.J.Y., Palanisamy K., Hinks J., Wuertz S.	Parameter selection for a microvolume electrochemical Escherichia coli detector for pairing with a concentration device	Tiempo de detección alcanzable para 1 CFU mL ⁻¹ simuladomuestra fue de 4.3 ±0.6 h suponiendo que no hubo pérdida de rendimiento en el paso de filtración	2019
Wolf-Baca M., Siedlecka A.	Detection of pathogenic bacteria in hot tap water using the qPCR method: preliminary research	La investigación preliminar apunta a la necesidad de utilizar técnicas moleculares como fuente adicional de información en los análisis de agua estándar para obtener tiempos de detección más cortos y resultados más precisos.	2019

Bigham T., Dooley J.S.G., Ternan N.G., Snelling W.J., Héctor Castelán M.C., Davis J.	Assessing microbial water quality: Electroanalytical approaches to the detection of coliforms	Las técnicas electroquímicas poseen numerosas ventajas en relación con la detección portátil y, aunque se han investigado un gran número de enfoques, predomina el uso de ensayos de galactosidasa y glucuronidasa.	2019
Khan F.M., Gupta R.	Escherichia coli (e. coli) as an indicator of fecal contamination in groundwater: A review	Las técnicas para la detección de muchas cepas bacterianas patógenas aún no están disponibles, a veces se requieren días o semanas para obtener los resultados. Para superar las dificultades, se requieren técnicas costosas y lentas para detectar, contar e identificar la presencia de cepas bacterianas específicas.	2020
Ward J.S.T., Lapworth D.J., Read D.S., Pedley S., Banda S.T., Monjerezi M., Gwengweya G., MacDonald A.M.	Tryptophan-like fluorescence as a high-level screening tool for detecting microbial contamination in drinking water	TLF puede indicar un riesgo de contaminación más amplio, pero no es tan sensible a la variabilidad a corto plazo en comparación con otros indicadores fecales.	2021
Kora A.J.	Zirconium alginate beads: A renewable source for the biosorption of fluoride from contaminated ground water	Las perlas de alginato de circonio son biosorbentes potenciales para la remediación de aguas subterráneas contaminadas.	2021
Gangar T., Satyam K., Patra S.	Monitoring/sensing techniques to address pollutant heterogeneity assessment in wastewater	Algunos métodos existentes incluyen el uso de un sistema compuesto basado en β -galactosidasa-AuNP que puede detectar <i>Escherichia coli</i> y <i>Staphylococcus aureus</i> con una sensibilidad de 10^2 CFU/ML.	2021
Demoliner M., Gularte J.S., Girardi V., Eisen A.K.A., de Souza F.G., Staggemeier R., Henzel A., Spilki F.R.	Microbial Source Tracking in Small Farms: Use of Different Methods for Adenovirus Detection	Se detectó HAdV en el 45 %, seguido de CAV (42 %), BAdV (29 %) y PAdV y AvAdV (13 %). La cuantificación de copias genómicas por litro osciló entre 9.40×10^4 y 5.54×10^{10} gc/L.	2021
Olalemi A.O., Ige O.M., James G.A., Obasoro F.I., Okoko F.O., Ogunleye C.O.	Detection of enteric bacteria in two groundwater sources and associated microbial health risks	Los niveles medios de <i>E. coli</i> en el agua del pozo y del pozo fueron de 3,3 y 1,7 log ₁₀ ufc/100 ml, respectivamente, y exhibieron una relación negativa con la salinidad ($r = -0.53$).	2021
Vishwakarma A., Lal R., Ramya M.	Aptamer-based approaches for the detection of waterborne pathogens	Se proporciona una idea de los aptámeros y su utilidad en forma de aptasensores. Analiza cómo los enfoques basados en aptámeros han surgido como una estrategia novedosa sobre enfoques bioquímicos complejos y más intensivos en recursos	2021

Shaik S., Saminathan A., Sharma D., Krishnaswamy J.A., Mahapatra D.R.	Monitoring microbial growth on a microfluidic lab-on-chip with electrochemical impedance spectroscopic technique	Muestra un posible rango de detección único con una regresión de orden superior, y se encontró que el uso repetido de un solo chip con el electrodo estaba dentro de un límite aceptable.	2021
Khan I.U.H., Becker A., Cloutier M., Plötz M., Lapen D.R., Wilkes G., Topp E., Abdulmawjood A.	Loop-mediated isothermal amplification: Development, validation and application of simple and rapid assays for quantitative detection of species of Arcobacteraceae family- and species-specific <i>Aliarcobacter faecis</i> and <i>Aliarcobacter lanthieri</i>	LAMP es un ensayo rápidos y rentables basados en ADN son sensibles y se pueden completar en menos de 40 minutos. Tienen potencial para la detección cuantitativa in situ de especies de la familia Arcobacteraceae.	2021
Rani A., Ravindran V.B., Surapaneni A., Mantri N., Ball A.S.	Review: Trends in point-of-care diagnosis for <i>Escherichia coli</i> O157:H7 in food and water	Los métodos de amplificación isotérmica, los biosensores, la espectroscopia Raman mejorada en superficie, los diagnósticos basados en papel y los métodos digitales basados en teléfonos inteligentes, se reconocen como nuevos enfoques en el campo para detectar <i>E. coli</i> .	2021
Saez J., Catalan-Carrio R., Owens R.M., Basabe-Desmots L., Benito-Lopez F.	Microfluidics and materials for smart water monitoring: A review	Los investigadores están desarrollando dispositivos de microfluidos de monitoreo de agua robustos, pero aún no se ha logrado la entrega de una plataforma rentable y comercialmente disponible.	2021
Zarrinkhat F., Jofre-Roca L., Jofre M., Rius J.M., Romeu J.	Experimental Verification of Dielectric Models with a Capacitive Wheatstone Bridge Biosensor for Living Cells: <i>E. coli</i>	Se validó el modelo teórico midiendo los cambios de permitividad dieléctrica en un cultivo celular de <i>Escherichia coli</i> ATTC 8739 de WDCM 00012 Vitroids. Se confirmó que el modelo esférico era más preciso.	2022
Rishi M., Amreen K., Mohan J.M., Javed A., Dubey S.K., Goel S.	Rapid, sensitive and specific electrochemical detection of <i>E. coli</i> using graphitized mesoporous carbon-modified electrodes	El electrodo GCE/GMC mostró una excelente sensibilidad y respuesta selectiva hacia <i>E. coli</i> 3 CFU/mL a 25.2×10^4 CFU/mL y 252CFU/mL a 2268CFU/mL respectivamente con un límite de detección (LOD) de 50.40CFU/mL.	2022
Treepachatsakul T., Lochotinunt C., Teechot T., Pensupa N., Pechprasarn S.	Gelatin-Based Microfluidic Channel for Quantitative <i>E. Coli</i> Detection Using Blue Fluorescence of 4-Methyl-Umbelliferone Product and a Smartphone Camera	El mecanismo subyacente para la medición de <i>E. coli</i> propuesta es el proceso de difusión pasiva de la MUG secretada por <i>E. coli</i> y el GUD suspendido en la gelatina, formando el producto de fluorescencia azul 4MU en los canales dándonos resultados positivos de lectura a través de un teléfono inteligente y luz ultravioleta	2022
Maguire M., Kase J.A., Brown E.W., Allard M.W., Musser S.M., González-Escalona N.	Metagenomic survey of agricultural water using long read sequencing: Considerations for a successful analysis	El ADN extraído de aguas agrícolas dio lugar a reacciones de secuenciación por nanoporos deficientes, con un bajo rendimiento (0.3-1.7 M de lecturas)	2022

CONCLUSIONES

Las investigaciones en métodos de detección de coliformes totales en el agua, es de utilidad para la población, esto ayudará a elaborar una técnica útil para evaluaciones microbiológicas en corto tiempo. En el Perú se evidencia un vacío de conocimiento acerca de métodos recomendables para utilizar en el análisis de calidad microbiológica de agua, a comparación de Estados Unidos, que es un país líder en métodos moleculares.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amidoun, S. (2017). *Escherichia coli* Recent Advances on Physiology, Pathogenesis and Biotechnological Applications.
- Fusco, A., Batista, K., Oliveira, C., & Brito, E. (2010). Desenvolvimento de PCR multiplex para detecção e diferenciação de categorias de *Escherichia coli* diarréogênicas. *Revista Pan-Amazônica de Saúde*, 1(2). <https://doi.org/10.5123/s2176-6223201000020000>
- Girones, R., Ferrús, M. A., Alonso, J. L., Rodríguez-Manzano, J., Calgua, B., de Abreu Corrêa, A., Hundesa, A., Carratala, A., & Bofill-Mas, S. (2010). Molecular detection of pathogens in water - The pros and cons of molecular techniques. In *Water Research* (Vol. 44, Issue 15, pp. 4325–4339). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2010.06.030>
- Mendes, D., & Domingues, L. (2015). On the track for an efficient detection of *Escherichia coli* in water: A review on PCR-based methods. In *Ecotoxicology and Environmental Safety* (Vol. 113, pp. 400–411). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2014.12.015>
- Moyano, S., & Marín, G. (2014). Técnica de filtración ISO 9308 aplicada al monitoreo de agua de red. *RADI*, 450(5900), 53–58.
- Md Khudzari, J., Kurian, J., Tartakovsky, B., & Raghavan, G. S. V. (2018). Bibliometric analysis of global research trends on microbial fuel cells using Scopus database. *Biochemical Engineering Journal*, 136, 51–60. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2018.05.002>
- Nurliyana, M. R., Sahdan, M. Z., Wibowo, K. M., Muslihati, A., Saim, H., Ahmad, S. A., Sari, Y., & Mansor, Z. (2018). The Detection Method of *Escherichia coli* in Water Resources: A Review. *Journal of Physics: Conference Series*, 995(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/995/1/012065>
- Salaz R (2019). *Métodos de búsqueda de información Bibliográfica*
- Silva, R., Rocha, R. S., Ramos, G. L. P. A., Xavier-Santos, D., Pimentel, T. C., Lorenzo, J. M., Henrique Campelo, P., Cristina Silva, M., Esmerino, E. A., Freitas, M. Q., & Cruz, A. G. (2022). What are the challenges for ohmic heating in the food industry? Insights of a bibliometric analysis. *Food Research International*, 157(March). <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111272>
- Maguire M., Kase J.A., Brown E.W., Allard M.W., Musser S.M., González-Escalona N (2022). Metagenomic survey of agricultural water using long read sequencing: Considerations for a successful análisis.
- Treebupachatsakul T., Lochotinunt C., Teechot T., Pensupa N., Pechprasarn S.(2022). Gelatin-Based Microfluidic Channel for Quantitative *E. Coli* Detection Using Blue Fluorescence of 4-Methyl-Umbelliferone Product and a Smartphone Camera

- Rishi M., Amreen K., Mohan J.M., Javed A., Dubey S.K., Goel S. (2002). Rapid, sensitive and specific electrochemical detection of *E. coli* using graphitized mesoporous carbon-modified electrodes
- Zarrinkhat F., Jofre-Roca L., Jofre M., Rius J.M., Romeu J. (2022). Experimental Verification of Dielectric Models with a Capacitive Wheatstone Bridge Biosensor for Living Cells: *E. coli*
- Saez J., Catalan-Carrio R., Owens R.M., Basabe-Desmots L., Benito-Lopez F. (2021). Microfluidics and materials for smart water monitoring: A review
- Rani A., Ravindran V.B., Surapaneni A., Mantri N., Ball A.S. (2021) Review: Trends in point-of-care diagnosis for *Escherichia coli* O157:H7 in food and water.
- Khan I.U.H., Becker A., Cloutier M., Plötz M., Lapen D.R., Wilkes G., Topp E., Abdulmawjood A. (2021). Loop-mediated isothermal amplification: Development, validation and application of simple and rapid assays for quantitative detection of species of *Arcobacteraceae* family- and species-specific *Aliarcobacter faecis* and *Aliarcobacter lanthieri*.
- Shaik S., Saminathan A., Sharma D., Krishnaswamy J.A., Mahapatra D.R.(2021) Monitoring microbial growth on a microfluidic lab-on-chip with electrochemical impedance spectroscopic technique.
- Vishwakarma A., Lal R., Ramya M. (2021). Aptamer-based approaches for the detection of waterborne pathogens.
- Olalemi A.O., Ige O.M., James G.A., Obasoro F.I., Okoko F.O., Ogunleye C.O. (2021). Detection of enteric bacteria in two groundwater sources and associated microbial health risks.
- Demoliner M., Gularte J.S., Girardi V., Eisen A.K.A., de Souza F.G., Staggemeier R., Henzel A., Spilki F.R. (2021). Microbial Source Tracking in Small Farms: Use of Different Methods for Adenovirus Detection
- Gangar T., Satyam K., Patra S. (2021). Monitoring/sensing techniques to address pollutant heterogeneity assessment in wastewater.
- Kora A.J. (2021). Zirconium alginate beads: A renewable source for the biosorption of fluoride from contaminated ground water.
- Ward J.S.T., Lapworth D.J., Read D.S., Pedley S., Banda S.T., Monjerezi M., Gwengweya G., MacDonald A.M. (2021). Tryptophan-like fluorescence as a high-level screening tool for detecting microbial contamination in drinking water.
- Khan F.M., Gupta R. (2020). *Escherichia coli* (*e. coli*) as an indicator of fecal contamination in groundwater: A review.
- Bigham T., Dooley J.S.G., Ternan N.G., Snelling W.J., Héctor Castelán M.C., Davis J. (2019). Assessing microbial water quality: Electroanalytical approaches to the detection of coliforms.
- Wolf-Baca M., Siedlecka A. (2019). Detection of pathogenic bacteria in hot tap water using the qPCR method: preliminary research.
- Han E.J.Y., Palanisamy K., Hinks J., Wuertz S. (2019). Parameter selection for a microvolume electrochemical *Escherichia coli* detector for pairing with a concentration device.
- Loo A., Bivins A., John V., Becker S., Evanchec S., George A., Hernandez V., Mullaney J., Tolentino L., Yoo R., Nagarnaik P., Labhasetwar P., Brown J.(2019). Development and field testing of low-cost, quantal microbial assays with volunteer

- reporting as scalable means of drinking water safety estimation.
- Lacey R.F., Ye D., Ruffing A.M. (2019). Engineering and characterization of copper and gold sensors in *Escherichia coli* and *Synechococcus* sp. PCC 7002.
- Malec A., Kokkinis G., Haiden C., Giouroudi I. (2018). Biosensing system for concentration quantification of magnetically labeled *e. Coli* in water samples.
- Wu G., Meyyappan M., Lai K.W.C. (2018). Simulation of graphene field-effect transistor biosensors for bacterial detection,
- Yin H.-B., Patel J.(2018). Comparison of methods to determine the microbial quality of alternative irrigation Waters,
- Ozeh U.O., Nnanna A.G.A., Ndukaife J.C. (2018). Coupling immunofluorescence and optoelectrokinetic technique for *Escherichia coli* detection and quantification in water.
- Gutiérrez-del-Río I., Marín L., Fernández J., Millán M.Á.S., Ferrero F.J., Valledor M., Campo J.C., Cobián N., Méndez I., Lombó F. (2018). Development of a biosensor protein bullet as a fluorescent method for fast detection of *Escherichia coli* in drinking water
- Gunda N.S.K., Dasgupta S., Mitra S.K. (2017). DipTest: A litmus test for *E. coli* detection in water.
- Kheiri R., Ranjbar R., Memariani M., Akhtari L. (2017). Multiplex PCR for detection of water-borne bacteria.
- Eltzov E., Marks R.S. (2016). Miniaturized Flow Stacked Immunoassay for Detecting *Escherichia coli* in a Single Step.
- Yang X., Yang K., Luo Y., Fu W. (2016). Terahertz spectroscopy for bacterial detection: opportunities and challenges.
- Shaibani P.M., Jiang K., Haghghat G., Hassanpourfard M., Etayash H., Naicker S., Thundat T. (2016). The detection of *Escherichia coli* (*E. coli*) with the pH sensitive hydrogel nanofiber-light addressable potentiometric sensor (NF-LAPS).
- Ramasamy M., Yi D.K., An S.S.A. (2015). Enhanced detection sensitivity of *escherichia coli* O157:H7 using surface-modified gold nanorods.
- Bridgeman J., Baker A., Brown D., Boxall J.B. (2015). Portable LED fluorescence instrumentation for the rapid assessment of potable water quality.
- Nigam V.K., Shukla P. (2015). Enzyme based biosensors for detection of environmental pollutants-A review.
- Saxena T., Kaushik P., Krishna Mohan M. (2015). Prevalence of *E. coli* O157: H7 in water sources: An overview on associated diseases, outbreaks and detection methods.
- Nicolini A.M., Fronczek C.F., Yoon J.-Y. (2015). Droplet-based immunoassay on a 'sticky' nanofibrous surface for multiplexed and dual detection of bacteria using smartphones.
- Gomi R., Matsuda T., Matsui Y., Yoneda M. (2014). Fecal source tracking in water by next-generation sequencing technologies using host-specific *escherichia coli* genetic markers.
- Bari M.L., Yeasmin S. (2014). Water Quality Assessment: Modern Microbiological Techniques.
- Loff M., Mare L., De Kwaadsteniet M., Khan W. (2014). 3M™ Molecular Detection system versus MALDI-TOF mass spectrometry and molecular techniques for the identification of *Escherichia coli* O157: H7, *Salmonella* spp. & *Listeria* spp

- Stauber C., Miller C., Cantrell B., Kroell K. (2014). Evaluation of the compartment bag test for the detection of *Escherichia coli* in water.
- Gonzalez R.A., Noble R.T. (2014). Comparisons of statistical models to predict fecal indicator bacteria concentrations enumerated by qPCR- and culture-based methods.
- Kim T., Han J.-I. (2013). Fast detection and quantification of *Escherichia coli* using the base principle of the microbial fuel cell.
- Durso L.M. (2013). Primary isolation of shiga toxin-producing *Escherichia coli* from environmental sources.
- Sbodio A., Maeda S., Lopez-Velasco G., Suslow T.V. (2013). Modified Moore swab optimization and validation in capturing *E. Coli* O157: H7 and *Salmonella enterica* in large volume field samples of irrigation water.
- Nagalambika C., Murthy S.M. (2013). Revalidation of testing methods for assessing microbial safety of groundwater.
- Wandermur G.L., Rodrigues D.M.C., Queiroz V.M., Gonçalves M.N., Miguel M.A.L., Werneck M.M., Allil R.C.S.B. (2013). Development of an immunosensor of plastic optical fiber for detection of microorganisms in water and environmental monitoring.
- McMahan L., Grunden A.M., Devine A.A., Sobsey M.D. (2012). Evaluation of a quantitative H₂S MPN test for fecal microbes analysis of water using biochemical and molecular identification.