



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Uso de Sensores para la Identificación de Nitrato en el Agua:  
Revisión Sistemática**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERA AMBIENTAL**

**AUTORAS:**

Chamorro Guizado, Ginette Nashell (ORCID: 0000-0002-6007-009X)  
Tan Chamaya, Jovany (ORCID: 0000-0003-2644-4171)

**ASESOR:**

Dr. Sernaque Auccahuasi, Fernando Antonio (ORCID: 0000-0003-1485-5854)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

LIMA - PERÚ

2020

## **Dedicatoria**

Dedicado a nuestros padres por brindarnos su apoyo incondicional, por motivarnos en el desarrollo de este trabajo, a nuestro asesor por brindarnos la ayuda y la confianza en todo el tiempo que se ha desarrollado esta investigación.

## **Agradecimientos**

Agradecemos a Dios, por permitirnos estar día a día con los nuestros y darnos la fortaleza de no desistir en todo el transcurso de nuestra etapa de desarrollo universitario. A nuestro estimado asesor, el Dr. Fernando Antonio Sernaque Auccahuasi, por el apoyo constante, los consejos y las enseñanzas que fueron siempre bien recibidas para poder desarrollar el presente trabajo.

## ÍNDICE

Dedicatoria .....	ii
Agradecimientos.....	iii
Resumen.....	vii
Abstract.....	viii
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	5
III. METODOLOGÍA.....	13
3.1 Tipo y diseño de investigación .....	13
3.2 Categorías, Subcategorías y matriz de categorización.....	14
3.3 Escenario de estudio .....	16
3.4. Participantes.....	16
3.6. Procedimiento .....	17
3.7. Rigor científico.....	20
3.8. Método de análisis de la información .....	22
3.9. Aspectos éticos .....	23
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	24
V. CONCLUSIONES .....	35
VI. RECOMENDACIONES.....	36
REFERENCIAS.....	37

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Matriz de categorización .....	15
<b>Tabla 2:</b> Biosensores .....	24
<b>Tabla 3:</b> Características de los biosensores en la identificación de nitrato .....	25
<b>Tabla 4:</b> Sensores electroquímicos.....	28
<b>Tabla 5:</b> Características de los sensores electroquímicos .....	30
<b>Tabla 6:</b> Sensores electromagnéticos.....	31
<b>Tabla 7:</b> Características de los sensores electromagnéticos .....	32

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Proceso de búsqueda y selección de documentos .....	19
<b>Figura 2:</b> Porcentaje de la escala de medición.....	34
<b>Figura 3:</b> Investigaciones realizadas en diferentes países. ....	34

## Resumen

El nitrato es uno de los contaminantes de aguas superficiales y subterráneas más extendidos que amenaza los suministros de agua potable y puede causar serios problemas de salud a los consumidores y al ecosistema, esta contaminación es el resultado de la fertilización desproporcionada o de la incorrecta disposición de las aguas residuales, tanto industriales como domésticas, el nitrato se puede detectar mediante métodos de laboratorio o métodos basados en sensores in situ. Esta revisión sistemática analiza los diferentes métodos con sensores en la identificación de nitrato en agua, se estudian las diversas características como el material del electrodo, el Límite de Detección (LOD) y la escala de medición, además, se incluyen las limitaciones y ventajas de los biosensores, sensores electroquímicos y sensores electromagnéticos, de tal manera se concluyó que los biosensores tienen alta sensibilidad, son adecuados para mediciones in situ y para el control remoto de la calidad del agua, así mismo los sensores electroquímicos tienen una buena sensibilidad con una operación simple y los sensores electromagnéticos son muy sensibles y pueden ser adecuados para la detección de bajo nivel, sin embargo, estos producen desechos químicos y se necesita capacitación para manejar los instrumentos.

**Palabras clave:** Nitrato, Sensores, Biosensores, Electroquímico, Electromagnético.

## **Abstract**

Nitrate is one of the most widespread surface and groundwater pollutants that threatens drinking water supplies and can cause serious health problems for consumers and the ecosystem, this contamination is the result of disproportionate fertilization or improper disposal of in wastewater, both industrial and domestic, nitrate can be detected using laboratory methods or methods based on on-site sensors. This systematic review analyzes the different methods with sensors in the identification of nitrate in water, the various characteristics such as the electrode material, the limit of detection (LOD), the scale are studied and the limitations and advantages of biosensors, sensors electrochemical and electromagnetic sensors, in such a way that it was concluded that the biosensors have high sensitivity, are suitable for measurements in situ and for the remote control of water quality, likewise the electrochemical sensors have a good sensitivity with a simple operation and the sensors Electromagnetic sensors are very sensitive and may be suitable for low-level detection. However, they produce chemical waste and training is needed to operate the instruments.

**Keywords:** Nitrate, Sensors, Biosensors, Electrochemical, Electromagnetic.



## **I. INTRODUCCIÓN**

El nitrato es uno de los contaminantes de aguas superficiales y subterráneas más extendidos que amenaza los suministros de agua potable y puede causar serios problemas de salud a los consumidores y al ecosistema, Bastani y Harter (2019, p.3). Esta contaminación es el resultado de la fertilización desproporcionada o de la incorrecta disposición de las aguas residuales, tanto industriales como domésticas, Larios, Ferrer, Himelis, Gesén (2015, p.2).

La contaminación del agua a causa del nitrato es un problema que se registra a nivel global, es por ello que la Unión Europea (UE) está llevando a cabo regulaciones administrativas que eviten una mayor contaminación a causa de los nitratos en los acuíferos, Hansen, Thorling, Schullehner, Termansen, Dalgaard (2017, p. 19). El ion nitrato causa un gran impacto en el deterioro de la salud de las personas, animales y el ambiente a corto, mediano y largo plazo, por ello es que se da la necesidad de tomar medidas a fin de disminuir las consecuencias de este, Alahi y Chandra (2018, p. 3). Teniendo en cuenta esta situación, las normas peruanas establecen que las cantidades o concentraciones permisibles de nitrato en el agua para poder potabilizar es de 50 mg/L, Decreto Supremo N° 004-2017, MINAM (2017, p.6).

Las actividades agrícolas son la principal fuente de contaminación por nitrato, afectando las aguas subterráneas, los pozos de suministro de agua públicos domésticos y los pozos urbanos-rurales en las zonas agrícolas, del mismo modo, las fuentes de nitrato incluyen la crianza de ganado, sistemas sépticos y nitrato natural, Bastani y Harter (2019, p. 03). El uso de fertilizantes nitrogenados en los últimos 50 años ha generado la triplicación de la producción de la comida a nivel mundial, Mosier, Syers y Freney (2007, p. 27).

Las tierras de cultivo donde se utilizan fertilizantes de nitrógeno sintético o estiércol animal además de ser manejadas con riego por inundación han demostrado ser la mayor fuente de carga de nitrato, Harter et. al (2017, p.12). Los agricultores empeoran esta situación debido a que no cuentan con estudios previos de las características del suelo ni del agua y realizan trabajos de agricultura, además, se abastecen de las aguas de los ríos y en muchas ocasiones estas provienen de

actividades antropogénicas, es por ello que el consumo directo del agua o de los productos finales, ocasionan graves daños a las persona y el ecosistema, por lo que los métodos de identificación de nitrato en el agua son de gran utilidad para el conocimiento de las personas y la prevención en su alimentación. Larios, et.al (2015, p.56).

El transporte de nitrato a través del agua subterránea hacia el agua superficial con la cual se conecta, afecta significativamente la calidad de esta y el funcionamiento del ecosistema, Sprague, Hirsch y Aulenbach (2011, p. 7209). Se ha encontrado que las concentraciones por encima de lo permitido en las normas, ocasionan enfermedades como la metahemoglobinemia en los niños y la aparición de cáncer en los adultos, Larios, et.al (2015, p.56), además, genera vulnerabilidad en el ecosistema por ejemplo acidificación de suelos y eutrofización de sistemas costeros, Mosier, Syers y Freney (2007, p.27).

Las acciones que contribuyen a reducir las cargas de nitrato en el agua subterránea o superficial es el cambio en el uso de la tierra, las mejoras en las prácticas agrícolas y los avances tecnológicos. Estas técnicas controlan las tasas de aplicación de agua para minimizar la lixiviación de nitrato y reducen la cantidad de nitrógeno aplicado en la tierra, Yong, Kwon, Chul y Hyun (2017, p.5).

El creciente interés en el manejo y monitoreo del ion nitrato ha impulsado el desarrollo de varias técnicas analíticas tal como espectrometría, cromatografía y electroquímica, Rogovska, Laird, Ping Chiou y Bond, (2018, p.13). Entre ellos los métodos electroquímicos han llamado cada vez más la atención en los últimos años porque es la más adecuada para el análisis in situ, ya que, miniaturiza el sistema de detección. Los métodos electroquímicos habitualmente se basan en la reducción del nitrato en la superficie del cátodo, la elección de los materiales del electrodo es muy importante para el rendimiento de los sensores, Liang, Zheng, Liu (2015, p.338). El sensor es útil para la agricultura y la gestión de reservas de agua, ya que una sobredosis de nitrato contaminaría el agua subterránea, Chaisrirattanakua et.al (2020, p.4).

Los sensores de nitrato tienen ventajas sobre el método estándar debido a que incluyen una metodología y operación simple, medición directa de iones

específicos, buena selectividad y portabilidad. La selectividad es la característica más importante de los sensores ISFET de nitrato, Chaisrirattanakua et al (2020, p. 4).

Ante esto se plantea el siguiente problema, ¿Qué sensores permiten la identificación de nitrato en el agua?, al cual lo acompañan tres problemas específicos, (a). ¿Cuáles son los tipos de sensores que se usan para la identificación de nitrato en el agua? (b) ¿Cuáles son las características principales de los sensores en la identificación de nitrato en el agua? y finalmente (c). ¿Cuáles son las limitaciones que presentan los sensores en la identificación de nitrato en el agua?

Esta investigación se justificó en la necesidad de identificar los métodos más recientes y eficientes para medir nitrato a través de sensores en aguas superficiales y subterráneas, de esta manera poder contribuir con el monitoreo de la calidad de agua para así disminuir la contaminación del ambiente y salvaguardar la salud de las personas que estén expuestas a este problema. Alahi y Mukhopadhyay, (2018, p.5), señalan que la ingesta del ion nitrato tiene varios aspectos positivos para el cuerpo humano, como un mejor flujo sanguíneo, reducción de la presión arterial y efectos cardiovasculares protectores, sin embargo, pueden producirse efectos negativos con una ingesta excesiva de iones de nitrato, como las enfermedades gástricas, el cáncer y el Parkinson.

Esta investigación tiene la finalidad de estudiar el monitoreo de nitrato a través de sensores, no obstante, existe de por medio un gran reto en la detección del nitrato ya que hay iones similares como nitrito, amonio, fosfato y sulfato, por ello, los investigadores en todo el mundo han mejorado los métodos de detección evitando cualquier tipo de interferencia que pueda encontrarse en el ambiente, de aquí se desarrollan los sensores, los cuales tienen una alta sensibilidad hacia el nitrato, su costo es reducido, el método de detección es portátil y se puede analizar la muestra in situ, lo que genera resultados con bajo margen de error.

El objetivo general de la presente investigación es; Identificar los sensores que permiten la identificación de nitrato en agua, para cumplir con este objetivo se propusieron tres objetivos específicos los cuales son; (a). Describir los tipos de

sensores que se usan para la identificación de nitrato en el agua, (b). Describir las características principales de los sensores en la identificación de nitrato en el agua (c). Describir las limitaciones que presentan los sensores en la identificación de nitrato en el agua.

## II. MARCO TEÓRICO

Según Alahi y Chandra (2018, p.12), en su investigación “Métodos de detección de nitrato en agua: una revisión” describe que los iones de nitrato se pueden detectar a través de métodos basados en sensores para desarrollar un sistema de monitoreo. En su estudio señala cinco métodos de detección de nitrato como sensor de Conductometría donde el Límite de Detección (LOD) fue de 0.005 mM, sensor amperométrico, su LOD fue de 0.17 mM, sensor de Voltametría cíclica su LOD fue de 200 nM, sensor amperométrico con un material biológico *Escherichia coli* con un LOD de 0.1 mN y por último el sensor de voltametría cíclica con un material biológico de gel de arcilla laponita con un LOD de 7 uM, en todos los diferentes sensores su detección fue en aguas superficiales, en saliva y sangre. Los autores concluyen que los sensores tienen mejor sensibilidad y son adecuados para mediciones in situ para monitoreo remoto de la calidad del agua.

Los autores; Azmi, Ahmad, Sallehuddin, y Mohd (2017, p. 23), realizaron la investigación “Técnicas para avanzar en las capacidades de varios métodos de detección de nitrato: una revisión” en ella presentan estrategias para facilitar la mejora de la detección en varios métodos de detección de nitrato. Obteniendo que los sensores electromagnéticos planos se han vuelto populares en la determinación de contaminantes debido a su medición no destructiva, bajo costo, características de alto rendimiento como respuesta rápida y operación simple.

Los autores; Saez, Arana, Fernandez y Lopez (2016, p.16) Elaboraron la investigación “Sensor de nitrito y nitrato a base de Ionogel para el control del agua en el punto de necesidad” a raíz del incremento de la concentración incontrolada de nutrientes en el agua es objeto de una creciente preocupación medioambiental. Para realizar un adecuado y fácil monitoreo de esta contaminación ambiental, los autores han desarrollado un sensor basado en gel iónico para la identificación colorimétrica y la detección de imágenes de nitrito y nitrato en agua. Este sensor funciona cuando la muestra de nitrato se agrega al área de reducción de Zinc que se movió hacia el área del gel iónico a causa de las fuerzas de capilaridad del papel, de esta manera por colorimetría se revela el color naranja final. Luminancia (L), cromaticidad (C) y tonalidad (H) los parámetros se tomaron en PhotoShop CC

mediante el pixelado de cada ionogel y se calculó la concentración de la muestra de nitrato usando un modelo de calibración multivariante, Los resultados mostraron una concentración de  $5.0 \pm 0.5$  ppm que concuerda bien con la solución enriquecida de 5 ppm.

Moo, Matjafri, Lim, Bronceado, (2016, p. 15) desarrollaron la investigación “Nuevo desarrollo de sensor de fibra óptica para la determinación de nitrato y nitrito en agua” en la cual desarrollaron un novedoso sensor de fibra óptica ultravioleta para la determinación de nitrato y nitrito en muestras de agua en donde los espectros de absorción de nitrato y nitrito se determinan a longitudes de onda analíticas de 302 mg / L. El desarrollo y la aplicación de metrología del sensor especializado de fibra óptica han tenido éxito en la concentración. Se identificaron longitudes de onda a 302 nm y 356 nm para la mejor respuesta de absorbancia para determinar la concentración de nitrato y nitrito respectivamente en una solución.

Según Wan, Zheng, Wan H., Yin, y Song (2017, p. 36) en el desarrollo de su investigación “Un nuevo sensor electroquímico basado en nano partículas de Ag decoradas con nanotubos de carbono de paredes múltiples para la determinación aplicada de nitrito” Prepararon un compuesto de nanotubos de carbono de pared múltiple (MWCNT) decorado con nano partículas de Ag mediante un enfoque de deposición electroquímica simple. El rendimiento electroquímico del sensor sugerido se investigó mediante voltamperometría de pulso diferencial (DPV) y cronoamperometría. El electrodo mostró una excelente actividad electrocatalítica frente a la oxidación de nitritos con un amplio rango de respuesta, alta sensibilidad y bajo límite de detección, lo que puede deberse al efecto sinérgico de las nano partículas de Ag y los MWCNT. También se investigó la estabilidad del presente sensor, que mostró una alta sensibilidad y estabilidad después de 15 días mantenida a temperatura normal.

Según Chairirattanakua et al (2020, p. 7) en su investigación “Modificación de la membrana selectiva de iones de cloruro de polivinilo para sensores ISFET de nitrato” se modificó una membrana selectiva de iones de cloruro de polivinilo (PVC) para detectar nitrato basado en la tecnología de detección de transistores de efecto de campo selectivo de iones (ISFET) para eliminar el cloruro interferencia. Se

realizó una modificación con solución de etilendiamina para lograr PVC animado, que fue luego se oxida con tungstato de sodio para formar una membrana de PVC recubierta de nitrona. El límite de detección de nitrato-nitrógeno es 1.20 ppm con rango lineal de 3 - 20 ppm a una sensibilidad de  $56 \pm 2$  mV / dec. El sensor es útil para detectar pequeña cantidad de nitrato en una solución mixta, que suele ser el caso en la mayoría de las situaciones. Este sensor podría ser aplicado en muchas aplicaciones, como la industria agrícola, la gestión de reservas de agua y el campo médico.

Según Liang et al. (2015, p.16) en su estudio “Electrodo de Cu a base de nanocables como sensor electroquímico para la detección de nitrato en agua” desarrollan un sensor donde los electrodos de Cu se preparan mediante recocido térmico de nanocables de Cu en atmósfera de Ar a 600-800 ° C durante 30 minutos. Cuando la temperatura de recocido no es demasiado alta (por ejemplo, 600 ° C), la fusión de nanocables de pequeño tamaño puede crear muchas uniones estrechamente conectadas entre nanocables de gran tamaño, lo que lleva a la formación de una red de nanocables porosa y estable, el examen del electrodo preparado a 600 °C como sensor de nitrato a través de la voltamperometría de pulso diferencial revela que este sensor presenta un rendimiento excelente: una respuesta lineal que varía de 8 a 5860 M ( $R^2 = 0.999$ ), una sensibilidad de 1.375 A / M, y un límite de detección de 1.35 M en una relación señal / ruido de 3.

De esta manera en la presente investigación se considera estudiar y conocer los siguientes términos conceptuales.

El agua es el compuesto químico más conocido, teniendo contacto con ella en todas sus formas, gaseosa, sólida y líquida, casi el 70% de la masa del cuerpo de una persona es de agua, todo lo que consumimos contiene agua en su mayor parte. American Chemical Society, (2007, p.13). El agua transporta componentes solubles de materia mineral hacia los océanos o los arrastra lejos de sus fuentes de origen, este transporte lleva nutrientes o sustancias contaminantes al suelo, agua y también afecta a las plantas Muñoz, Contreras y Molero (2018, p. 93).

El nitrógeno inorgánico existe en diferentes formas químicas, como amoníaco, nitrito o la forma más común el nitrato. El nitrato está presente de forma natural en

vegetales de hojas verdes, espinacas y lechugas. El nitrato en sí no es muy tóxico. Cuando ingresa al cuerpo humano y entra en contacto con la sangre, se reduce a nitrito es ahí donde se define la toxicidad, reemplaza el hierro en la hemoglobina y hace que el oxígeno sea imposible de transportar causando que las personas se asfixien, esta enfermedad se llama metahemoglobinemia, Gallego, (2018) sin embargo, el nitrato en su forma de nitrato de amonio es el fertilizante más importante, como también es un peligroso explosivo, el nitrato de amonio es un fuerte oxidante que es estable a temperatura ambiente, a 250°C empieza su descomposición, a 300°C forma distintos productos gaseosos Chang, (2013, p.976)

Los nitratos son nutrientes que se pueden disolver en agua, y llegar a ocasionar el crecimiento excesivo de algas y demás plantas acuáticas, las cuales se descomponen y mueren, teniendo como resultado la disminución de oxígeno del agua llevando a la muerte de los seres vivos que viven de ello, Villanueva (2013, p.97)

Actualmente los nitratos conforman la principal fuente de contaminación difusa del agua subterránea y superficial.

Las diferentes actividades que desarrollan los seres humanos y el cambio de los fenómenos naturales, como consecuencia han generado una alteración en el ciclo natural del nitrógeno, esto genera que la cantidad total de nitrógeno que entra a la biosfera es mayor a la que sale mediante la desnitrificación, Navarro (2013, p. 54)

Casi el 78% del volumen de lo que es el aire está compuesta de nitrógeno, el origen de los minerales importantes del nitrógeno son el nitrato de potasio ( $\text{KNO}_3$ ) y el nitrato de sodio ( $\text{NaNO}_3$ ), el nitrógeno en realidad no es primordial para la vida, sin embargo es un buen componente de los ácidos nucleicos y las proteínas Chang, (2013, p.969) El nitrógeno, es un elemento importante en la biosfera, en donde se encuentra enlazada a otros elementos mediante los átomos, principalmente formando parte de las proteínas de los vegetales y de los animales, otro de los elementos esenciales para el buen desarrollo de los seres vivos es el  $\text{N}_2$ , Esteban, (2010, 158 p.)



Debido al continuo crecimiento de la población, producir más alimentos se hizo una necesidad, ante esto los fertilizantes naturales cada vez más se tornan insuficientes, por lo que se optó por agregar una cantidad mayor de nitrógeno a los cultivos, pero obtenido por procesos químicos, Chang (2013, p105). Se convirtió el nitrógeno en amoníaco, con el que la obtención de nitratos y sales amónicas es muy fácil, para así ser agregados a los campos como fertilizantes y obtener una mayor producción, Del Pilar (2017, p.141) Las consecuencias de las pérdidas de Nitrógeno de los sistemas agrícolas a las masas de agua son una preocupación social importante en los países desarrollados, con especial atención a la contaminación de acuíferos por nitratos y a la excesiva disponibilidad de nitrógeno en lagos y estuarios, Villalobos (2017, p.403)

El nitrógeno es muy difícil de ser asimilable directamente por las plantas, es por ello que lo asimilan como ion nitrato, a esta transformación se le denomina fijación biológica del nitrógeno y la realizan únicamente ciertas algas y bacterias de manera natural, Del Pilar (2017, p.139). Las bacterias que se encuentra en las raíces de las plantas son encargadas de las reacciones de oxidación – reducción que suceden en el agua, en las capas más profundas del agua donde hay falta de oxígeno es decir existe un medio anaerobio, las bacterias transforman el nitrógeno inorgánico en ion amonio  $NH_4$ , sin embargo, en la superficie del agua donde se encuentra oxígeno, las bacterias transforman el nitrógeno inorgánico en ion nitrato  $NO_3$ , Muñoz et. al. (2018, p.94).

Cuando al suelo se le administra nitrógeno como ion amonio, las bacterias nitrificantes son las que lo convierte en ion nitrato, haciéndola disponibles para las plantas, sin embargo, el arroz lo puede tomar de manera directa del ion amonio. El exceso del nitrato en el suelo puede ocasionar que las plantas lo asimilen en concentraciones altas y puedan resultar tóxicas para los rumiantes como para el hombre, Esteban (2010, p.159).

Los fertilizantes son las principales fuentes antropogénicas de nitrógeno, que, para obtener una máxima producción en la agricultura, se aplican en exceso los fertilizantes en el suelo, ocasionando fugas a las aguas subterráneas o hacia las aguas superficiales, Navarro (2013, p.54).

Los fertilizantes que son nitrogenados contienen sales de amonio ( $\text{NH}_4$ ), sales de nitrato ( $\text{NO}_3$ ) y otros diversos compuestos. La principal materia prima para los fertilizantes nitrogenados es el amoníaco, el cual resulta por la reacción del nitrógeno y el hidrógeno, Chang (2013, p.105). Alrededor del 75% del nitrógeno que se aplica es en forma de fertilizantes, el fertilizante nitrogenado que se prefiere es el nitrato de amonio cálcico, y el nitrato de amonio, estos suponen el 40% del consumo agrícola, Andreu (2006, p.26)

Las excretas de animales, provenientes de animales de granjas contienen gran cantidad de material con nitrógeno el cual se convierte en nitrato e impacta con el suelo y la hidrología del lugar, Navarro (2013, p.55). La utilización del estiércol en la agricultura, precisa que los aportes no sean mayores a las necesidades de nitrógeno en los cultivos, de lo contrario se originan los procesos de contaminación, Andreu (2006, p.20).

Los sensores son un tipo especial de dispositivo electrónico, y puede ser visto como el elemento principal de una cadena de medición, se puede definir como un dispositivo analítico compacto que incorpora un elemento de sensor biológico o está íntimamente asociado con un transductor físico químico, en los últimos años, muchos avances tecnológicos nos han proporcionado mejoras en sensibilidad, selectividad y capacidad de multiplexación en los sensores, Karunakaran, Rajkumar y Bhargava (2015, p.01).

Un sensor consta de tres elementos principales: un receptor, un transductor y un sistema de procesamiento de señal, David, Gonsalves, Halberstadt y Laurencin (2008, p.23).

El receptor es una especie molecular que analiza un mecanismo bioquímico para el reconocimiento. Son responsables de vincular el analito de interés para la superficie del sensor y su posterior medición, Karunakaran et al. (2015, p.04).

Un transductor es el dispositivo que convierte los eventos de señal de bioreconocimiento en señales detectables. Las señales detectables pueden ser electroquímicas (potenciometría, conductimetría, impedimetría, amperometría, voltamperometría), ópticas (colorimétricas, fluorescentes, luminiscentes,

interferométricas), calorimétricas (termistor), onduladas) o de naturaleza magnética, Tichý, et al (2010, p.07).

Para Karunakaran et al. (2015, p.04) La transducción se puede lograr a través de una gran variedad de métodos. La mayoría de las formas pueden ser clasificadas en una de tres clases principales: métodos de detección óptica, métodos de detección electroquímica y métodos de detección basados en masa.

Las principales limitaciones para la identificación de nitratos incluyen la complejidad de los procedimientos analíticos, la presencia de sustancias químicas interferentes y los procesos de muestreo que requieren especialistas para analizar los resultados, Harnsoongnoen (2017). La obtención de datos confiables es crucial para el monitoreo de nitrato y se puede conseguir controlando las condiciones de medición y utilizando instrumentos de precisión, Alahi y Chandra (2018).

Durante los últimos años, el desarrollo de dispositivos portátiles de bajo costo que se pueden emplear para el análisis in situ y continuo de nitratos en varios medios ha atraído un interés considerable, Harnsoongnoen (2017). Es por ello que esta revisión proporciona una descripción general de los avances recientes en tres tipos de sensores: Biosensores, Sensores Electroquímicos y Sensores Electromagnéticos.

Los biosensores con su método de Biodetección, es un método directo para detectar nitratos en agua, en estos sistemas los materiales biológicos se emplean con un sistema de detección y un circuito de acondicionamiento de señales para medir la concentración de los iones objetivo en una solución de muestreo. La solución de muestreo o analito es expuestos directamente al biosensor y al material sensor para medir la concentración de la muestra. Los iones objetivos interactúan con el material biológico para proporcionar la información necesaria, Alahi y Chandra (2018).

Los sensores electroquímicos han sido considerados como una de las herramientas analíticas más prometedoras para detectar iones de nitrato debido a su rápida respuesta, alta sensibilidad, facilidad de operación y miniaturización. Más importante aún, las técnicas electroquímicas tienen un bajo requerimiento de pre -

tratamiento de muestras y consumo de energía, lo que las convierte en candidatos prometedores para la detección de nitratos en diversas matrices ambientales, particularmente para aplicaciones de campo, Harnsoongnoen (2017).

Los Sensores Electromagnéticos son muy buenos para medir propiedades físicas y adecuados para medición directa. Una muestra tiene diferentes propiedades, como conductividad, propiedades dieléctricas y permeabilidad que puede estimarse para medir el nitrato, para mejorar de la sensibilidad de estos sensores se puede hacer optimizando el diseño y la configuración, Alahi y Chandra (2018).

### **III. METODOLOGÍA**

#### **3.1 Tipo y diseño de investigación**

##### **Tipo de investigación**

La presente investigación es del tipo aplicada, de acuerdo a Lozada (2014, p. 34) señala que las investigaciones aplicadas buscan la formación de conocimiento con un estudio directo a los problemas de la sociedad o el sector productivo, la investigación aplicada es la que se basa esencialmente en los hallazgos o estudios tecnológicos de la investigación básica.

La investigación aplicada se enmarca dentro de una secuencia programática de búsquedas que tienen como núcleo el diseño de teorías científicas. Es decir, es el enlace entre la teoría y el producto, Vargas (2009, p.160).

Según Hernández (2015, p.16), la investigación de tipo aplicada busca la obtención de un nuevo conocimiento técnico con aplicación inmediata a un problema determinado. Este tipo de investigación se fundamenta en los resultados de la investigación básica, la cual a su vez está supeditada a una necesidad social por resolver. Ambas prácticas no se pueden separar.

Esta investigación es de tipo aplicada porque pretende representar y entender la metodología y resultados de investigaciones científicas ya realizadas las cuales buscan respuesta a un problema común, es por ello que se investiga con disciplina los hechos o fenómenos ocurridos, además, se intenta formar una totalidad armónica y coherente con los conocimientos obtenidos mediante la investigación.

##### **Diseño de investigación**

El diseño de la investigación que se realizó es cualitativo narrativo tópico, según Hernández, Fernández y Baptista (2014, p.10), la investigación cualitativa se enfoca en comprender los fenómenos, explorándolos desde la perspectiva de los participantes en un ambiente natural y en relación con su contexto. Utiliza la recolección y análisis de los datos para afinar las preguntas de investigación o revelar nuevas interrogantes en el proceso de interpretación.

Según Czarniawska, 2004 (como se citó en Hernández, Fernández y Baptista, 2014, p. 488), señala que los diseños narrativos pretenden entender la sucesión de hechos, situaciones, fenómenos, procesos y eventos donde se involucran pensamientos e interacciones, a través de las vivencias contadas por quienes los experimentaron.

Según Mertens (2010), señala que el diseño de investigación narrativo tópico es cuando la investigación se enfoca en una temática, suceso o fenómeno.

Esta investigación es de diseño cualitativo, narrativo tópico porque se orientó a entender y analizar lo que se conoce del tema que se está investigando, además porque se puede compartir los análisis o resultados recientes de otros investigadores con la posibilidad de suministrar nuevas ideas.

### **3.2 Categorías, Subcategorías y matriz de categorización**

Uso de sensores para la identificación de nitrato en el agua: Revisión Sistemática

Objetivo General: Determinar si el uso de sensores permite la correcta identificación de nitrato en el agua.

**Tabla 1:** Matriz de categorización

<b>Objetivos específicos</b>	<b>Problemas específicos</b>	<b>Categoría</b>	<b>Subcategoría</b>	<b>Criterio 1</b>	<b>Criterio 2</b>	<b>Criterio 3</b>
Describir los tipos de sensores que se usan para la identificación de nitrato en el agua	¿Cuáles son los tipos de sensores que se usan para la identificación de nitrato en el agua?	Tipos de sensores	-Biosensores -Sensores electromagnéticos -Sensores electroquímicos	De acuerdo a la naturaleza del material del receptor	De acuerdo a la naturaleza del material del transductor	De acuerdo al lugar de medición: in situ o en laboratorio
Describir las características principales de los sensores en la identificación de nitrato en el agua	¿Cuáles son las características principales de los sensores en la identificación de nitrato en el agua?	Características	-Características físicas -Características químicas	De acuerdo a la sensibilidad y selectividad del sensor	De acuerdo al rango de medición	De acuerdo al límite de detección
Describir las limitaciones que presentan los sensores en la identificación de nitrato en el agua	¿Cuáles son las limitaciones que presentan los sensores en la identificación de nitrato en el agua?	Limitaciones	-Identificación Directa -Identificación Indirecta	De acuerdo a los reactivos que se utilizan	De acuerdo al tiempo de vida del sensor	De acuerdo al método de detección

Fuente: Elaboración propia

### **3.3 Escenario de estudio**

Taylor y Bogdan (1987, p.36), indican que el escenario ideal para un estudio es donde los investigadores obtienen fácil acceso, establecen una buena relación con los informantes y pueden recoger datos directamente relacionados con los intereses investigativos.

Según López (como se citó en Valerdí, 2009, p. 147), el escenario es donde se va a realizar el estudio, así como las características de los participantes, el acceso al mismo y a los recursos disponibles que fueron determinados desde la elaboración del proyecto.

La presente investigación estudió artículos científicos o documentos relacionados al tema de métodos de identificación de nitrato en agua, los cuales se desarrollan en laboratorios químicos de análisis ambientales, diferentes universidades alrededor del mundo, además algunos investigadores realizan sus estudios de manera in situ en aguas superficiales y subterráneas.

### **3.4. Participantes**

Según Hernández, Fernández y Baptista (2014, p.54), señalan que los participantes son fuentes internas de datos, ya que permiten la recolección de datos para luego ser analizados. El investigador también puede cumplir el rol de participante.

En esta investigación se realizó la indagación extensa de documentos como artículos de revistas indexadas, libros, capítulos de libros, artículos científicos, ya sean de manera digital o física, se considerará determinadas palabras claves en idioma español e inglés para realizar la búsqueda en bases de datos académicas como: Science Direct, Ebsco, Scopus, Web of Science y Scielo.

### **3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

La técnica de recolección de datos es el análisis documental ya que se realizó una exhaustiva y completa revisión de la literatura, elaborando un plan detallado de procedimientos con el objetivo de identificar todas investigaciones publicadas sobre el uso de sensores para la identificación de nitrato en el agua, Torres, Salazar y



Paz (2019, p.4) indican que, para una investigación científica, la recolección de datos primarios procede por la observación, por entrevistas o encuestas a los individuos de estudio y por experimentación.

Las técnicas cualitativas, nos brindan una profundidad superior en la respuesta y así una mejor comprensión del fenómeno que se está estudiando. Este tipo de técnicas por lo general ocasionan costos menores que las técnicas cuantitativas, se pueden ejecutar más rápido, son más flexibilidad en el momento de su aplicación y favorecen a establecer un vínculo más directo con los sujetos, Aranda y Araujo (2009, p.2).

En este trabajo de investigación se utilizó como técnica de recolección de datos la revisión de las metodologías de artículos científicos, libros y tesis de investigaciones relacionadas, basándonos en la identificación, selección y análisis de la información necesaria para llegar a una buena recolección de datos.

Para la organización de los documentos y sus características se desarrolló una ficha como instrumento de recolección de datos, la cual contiene los siguientes datos de los documentos; páginas utilizadas, año de publicación, lugar de publicación, tipo de investigación, nombre de los autores, las palabras claves, los objetivos, el tipo de método utilizado para identificar nitrato, las características del método, el límite de detección (LOD), los resultados y conclusiones, este instrumento se encuentra en el Anexo 1.

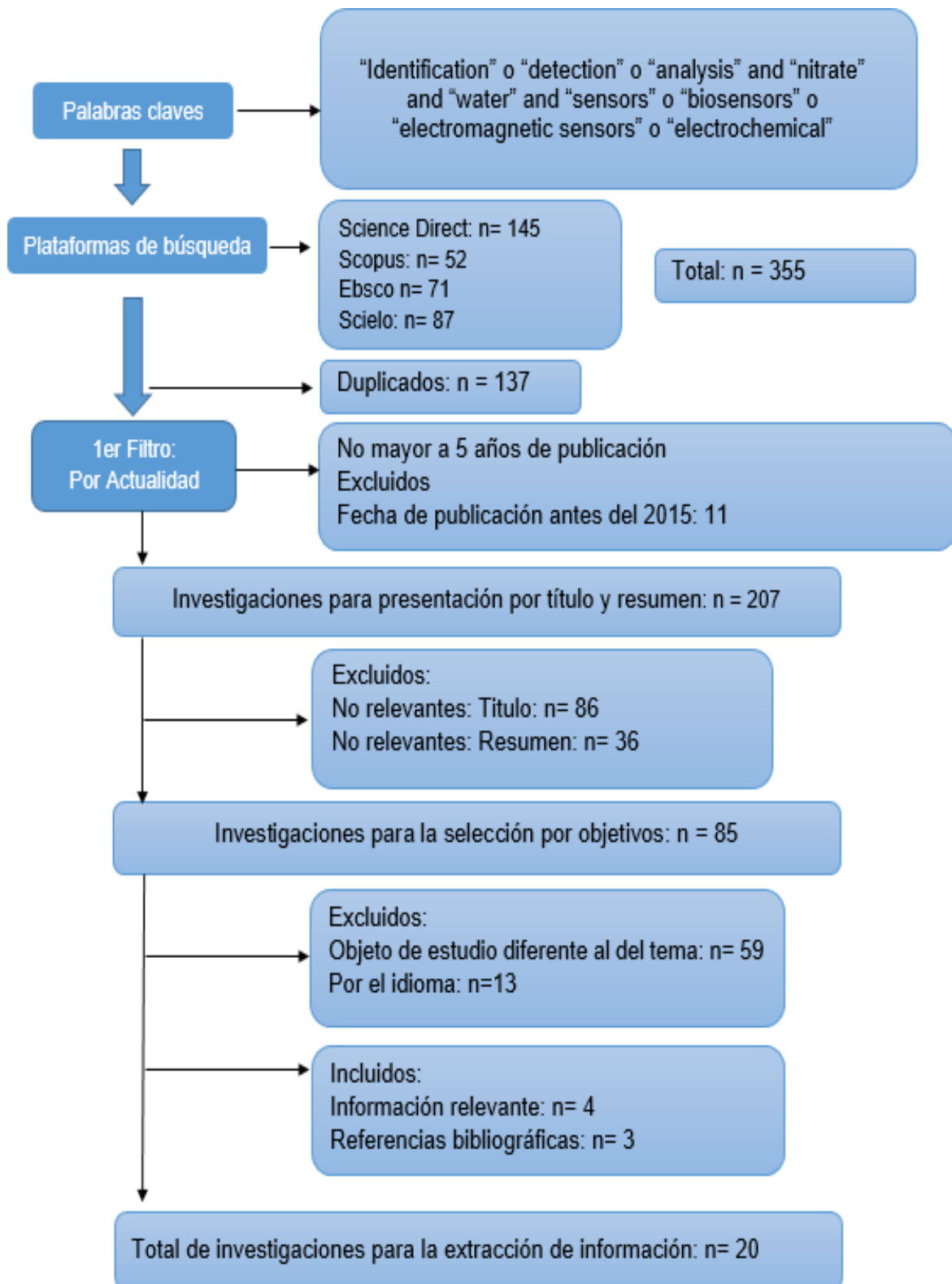
### **3.6. Procedimiento**

Para el muestreo de documentos como artículos de revistas indexadas y artículos científicos se consideró la búsqueda en base a las palabras claves señaladas anteriormente en bases de datos académicas como Science Direct, Scopus, Web of Science, Ebsco y Scielo, considerando además una antigüedad no mayor a 5 años, las investigaciones deben pertenecer a revistas indexadas, deben ser de carácter científico y aplicados, además, se debe tener acceso al documento completo.

La identificación de estudios se realizó en dos fases, la primera fase, se desarrolla la búsqueda de información utilizando palabras claves en el idioma español, como: Nitrato, Identificación de nitrato, Detección de nitrato, Biosensores, Sensores electromagnéticos y Sensores electroquímicos. De esta manera podemos abarcar las revistas o páginas web donde las investigaciones se presentan en este idioma, por otro lado la segunda fase de recolección de datos, las palabras claves se presentan en el idioma inglés, como: Nitrate, Nitrate identification, Electrochemical detection, Chromatography detection, Biosensors, Electromagnetic sensors, se debe a que al realizar un diagnóstico inicial se observó que hay mayor información relevante con datos precisos y son documentos relacionados al tema de investigación.

Se identificaron  $n = 355$  investigaciones, de las cuales  $n = 137$  de ellas eran duplicados, por lo que fueron descartados. Luego, de los  $n=207$  restantes se eliminaron  $n= 122$  debido a que el título y el abstract no eran relevantes para la presente investigación, después se excluyó a  $n= 72$  investigaciones por que el objeto de estudio y el idioma no cumplían como criterios de inclusión, finalmente después de haber realizado una exhaustiva revisión de los documentos restantes se incluyó  $n= 7$  por contener información relevante y por haber sido encontrados en las referencias bibliográficas, tal como se muestra en el diagrama de bloques de la Figura 1.

**Figura 1:** Proceso de búsqueda y selección de documentos



Fuente: Elaboración propia

### **3.7. Rigor científico**

Respecto a la revisión sistemática, existen investigadores que han trabajado ampliamente este método, primordialmente en las ciencias médicas para luego utilizarse en las ciencias sociales y administrativas, es por ello que la presente investigación tiene rigor científico.

#### **Dependencia**

La dependencia se refiere a la estabilidad de la información, la estabilidad de los datos, por su complejidad, no está asegurada en la investigación cualitativa, como tampoco es posible la replicabilidad idéntica de estudios realizados bajo este paradigma debido a la extensa diversidad de realidades o situaciones analizadas por el investigador, Noreña (2012, p. 267)

Colás (1992), resalta que la dependencia está denominada también como consistencia y esta trata de la estabilidad de la información (replicabilidad), de cómo describir las técnicas de recolectó de los datos y su análisis.

El presente trabajo aplicó a este criterio ya que se elaboró a partir de la recopilación y análisis de varios estudios los cuales también están sujetos al análisis por diferentes investigadores quienes pueden generen resultados equivalentes o interpretaciones congruentes con los resultados de la presente investigación.

#### **Credibilidad**

La credibilidad implica que el investigador capté y valore situaciones vinculadas con las experiencias de los participantes, por ello, es necesaria la pesquisa de los argumentos fidedignos que llegan a ser demostrados en los resultados de los estudios realizados, de acuerdo con el proceso que se siguió en la investigación, Suárez (2007, p. 647)

Según Pla (1999), el valor de la verdad de la credibilidad de la investigación debe estar en términos que sea creíble, el criterio de credibilidad tiene por objetivo demostrar que la investigación se ha realizado de forma pertinente.

El criterio de credibilidad aplicó al presente trabajo porque en el análisis de los estudios se evitó que nuestras creencias y opiniones afecten la claridad de las interpretaciones de los datos, además se consideró valiosos todos los datos sin importar la existencia de contrastes con los autores.

### **Transferibilidad**

El criterio de transferibilidad se refiere a que los resultados de un estudio, no pueden ser transferibles ni se pueden aplicar a otros contextos y/o ámbitos de acción, criterio del cual se debe tener razón plena, en tanto la naturaleza social y compleja del fenómeno estudiado. Sin embargo, podría ser referente para producir transferencias de los instrumentos y fases de la investigación en otra situación y/o contexto, dependiendo de la condición o grado de intensidad al acercamiento en cuanto a similitud del proceso desarrollado, de quien investiga y quiere producir la transferencia. (Fernández, 2006, p. 24)

Ante lo anterior Colás, 1992, afirma que la transferibilidad es el nivel en el que se puede aplicar los descubrimientos de una investigación a otros sujetos o a otros contextos, realizando una descripción exhaustiva. El criterio de aplicabilidad hace referencia a la posibilidad de aplicar los descubrimientos a otros contextos.

La presente investigación aplicó el criterio de transferibilidad porque el análisis final puede dar una idea general de los métodos de identificación de nitratos, también contribuye a un mayor conocimiento en este tema, además de generar que los futuros lectores tengan la posibilidad de aplicar el análisis en sus propios contextos.

### **Confirmabilidad**

La confirmabilidad nos permite tener conocimiento del papel que tiene el investigador durante el trabajo de campo para poder identificar sus limitaciones y alcances que lo dejan controlar las posibles críticas que suscita el fenómeno o los participantes. Los resultados de la investigación deben garantizar la veracidad de las descripciones realizadas por los participantes, Noreña (2012, p.268).

La confirmabilidad recoge registros concretos, citas directas, transcripciones textuales, hace una referencia a la neutralidad, este criterio consiste en confirmar

la información, la interpretación de los significados y la generalización de las conclusiones, Albert (2006, p.154)

La investigación aplicó al criterio de confirmabilidad debido a la objetividad de los autores a cargo, se trabajó con citas, registros concretos y nos basamos en confirmar la información recaudada.

### **3.8. Método de análisis de la información**

La presente investigación se analizó de acuerdo al cuadro de las categorías y subcategorías, iniciando con tres categorías: 1.) Tipos de sensores 2.) Características y 3.) Limitaciones y las subcategorías y criterios que pasamos a detallar.

Como parte de la categoría, Tipos de sensores, realizamos el análisis del contenido de los artículos y sus resultados en las investigaciones seleccionadas, ante esta categoría manejamos la subcategoría 1.) Biosensores, Sensores electromagnéticos, Sensores electroquímicos, la cual está complementada con tres criterios; 1.1.) De acuerdo a la naturaleza del material receptor, 1.2.) De acuerdo a la naturaleza del material del transductor, 1.3.) De acuerdo al lugar de medición: in situ o en laboratorio.

En la segunda categoría, Características, tomamos en cuenta los detalles característicos de las investigaciones seleccionadas en relación a los métodos de detección, por lo que la subcategoría está basada en 2.) Características físicas y Características Químicas, que se complementará con los criterios; 2.1.) De acuerdo a la sensibilidad y selectividad del sensor, 2.2.) De acuerdo al rango de medición, 2.3.) De acuerdo al límite de detección.

Por último, en base a la tercera categoría, Limitaciones, de acuerdo a los artículos recaudados precisamos los detalles a considerar con las subcategorías; 3.), Identificación directa e Identificación Indirecta, bajo los criterios 3.1.), De acuerdo a los reactivos que se utilizan, 3.2.) De acuerdo al tiempo de vida del sensor, 3.3.) De acuerdo al método de detección.

### **3.9. Aspectos éticos**

Este trabajo de investigación siguió los lineamientos establecidos en el código de ética de la universidad César Vallejo, mediante la resolución de Consejo Universitario N° 0126-2017, como también se hizo pleno uso y respeto a los lineamientos establecidos en la ISO 690:2010, haciendo uso de sus directrices para la redacción de las citas y referencias bibliográficas como parte del recurso de la información.

El presente trabajo se lleva a cabo respetando la ética, siendo este el lado importante de toda investigación, sin ser esta una excepción la cual se ha realizado a partir del análisis propio y consecuente, partiendo de las fuentes verdaderas las cuales fueron citadas cuidadosamente, con recelo y respeto a su autenticidad y hacia los autores principales.

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Tabla 2:** Biosensores

TIPO DE SENSOR	MATERIAL DEL ELECTRODO	LOD	ESCALA	REFERENCIA
Biosensor	Nitrato reductasa	45 ppb	Campo	Minami et al. (2016)
Biosensor	Nitrona	1.20 ppm	Campo	Chaisrirattanakua et al. (2019)
Biosensor	-Electrodo de alambre de Platino (Pt)	Sin Información	Campo	Massah y Asefpour, (2018)
Biosensor	Enzima nitrato reductasa (NaR)	Sin información	Campo	Manzar, Adeloju (2016)
Biosensor	Enzimas, bacterias	0.5 Um	Campo	Revsbech, Nielsen y Fapyane (2020)
Biosensor	Enzimas	Sin información	Campo	Jazib, Jawayria, Muhammad A, Muhammad F y Raza (2017)
Biosensor	Resina, Membrana de intercambio anionico y Zeolita	1.06 mg /L	Campo	Ren et al (2020)

Fuente: Elaboración propia.

El método de biodetección es un método directo para detectar nitrato en agua, es por ello que Minami et al. (2016), desarrollaron un biosensor con un método de detección basado en un transistor de efecto de campo orgánico de tipo puerta extendida (OFET), con ello lograron desarrollar un sistema altamente selectivo y sensible, capaz de detectar nitrato en agua y en saliva humana, mientras que Massah y Asefpour (2018), presentan un biosensor con un método de detección basado en biodetección electroquímica que consta de cuatro unidades principales: una unidad electroquímica de tres electrodos basados en enzimas, procesamiento de señales y datos inalámbricos, una unidad de transferencia, una unidad de toma de decisiones basada en una aplicación para la plataforma iOS y una unidad para compartir los resultados a través de un servidor en la nube basado en Internet de las Cosas (IoT)



**Tabla 3:** Características de los biosensores

TIPO DE SENSOR	CARACTERISTICAS	LIMITACIONES / VENTAJAS	REFERENCIA
<b>Biosensor</b>	- La detección de nitratos se da mediante un relé de electrones en el electrodo, lo que resulta en cambios de las propiedades eléctricas de la OFET - Dispositivo portátil y desechable	- La ventaja de este biosensor es que el proceso de fabricación es rápido y simple. - La limitación que presenta es que el rendimiento en cuanto a sensibilidad a iones convencionales es bajo.	Minami et al. (2016)
<b>Biosensor</b>	- Este estudio describió la modificación de la membrana selectiva de iones de PVC a través de la animación de PVC y la oxidación de PVC	- La ventaja sobre el método estándar, es que tiene una metodología simple y operación, la medición directa de iones objetivo, buena selectividad y portabilidad	Chaisrirattana kua et al. (2019)
<b>Biosensor</b>	- Biosensor portátil inteligente que no requiere reemplazo frecuente de enzimas. - No requiere reactivos ni asistencia técnica	- La ventaja es la reutilización en al menos 400 muestras sin necesidad de sustitución del electrodo. - Sistema basado en IoT que comparte los resultados con otros clientes de todo el mundo	Massah y Asefpour, (2018)
<b>Biosensor</b>	-Dispositivo analítico compuesto por un bio receptor, un transductor y un detector. -No toxico	- Este Biosensor de nitrato y algunos otros basados en reductasa sufren la interferencia de oxígeno, por lo que sugieren estrategias para la eliminación de oxígeno.	Manzar, Adeloju (2016)
<b>Biosensor</b>	- Dispositivo rápido, sensible y de mayor duración	- Como limitación tenemos que la mayoría de los tipos de sensores se ven afectados por H <sub>2</sub> S, pero pocas publicaciones mencionan este interferente	Revsbech, Nielsen y Fapyane (2020)
<b>Biosensor</b>	Se caracterizan por ser los dispositivos que capturan la señal biológica y la convierten en una señal eléctrica detectable.	Uno de los principales obstáculos en el desarrollo de biosensores es el uso de agentes biológicos sintéticos	Jazib, Jawayria, Muhammad A, Muhammad F y Raza (2017)
<b>Biosensor</b>	- El enjuague del dispositivo DGT a intervalos de 3 días evita la contaminación biológica de la sonda.	La ventaja de este dispositivo es que puede medir amonio, nitrato, fósforo y oxígeno disuelto simultáneamente	Ren et al (2020)

Elaboración propia

Chaisrirattanakua et al. (2019), Desarrolló un sensor basado en la detección del transistor de efecto de campo selectivo de iones (ISFET), también se encontró que Revsbech, Nielsen y Fapyane (2020), desarrollaron un sensor basado en amperometría como método de detección. Además, Ren et.al (2020), demostraron que la técnica de gradientes difusivos en películas delgadas (DGT) fue su método de detección.

Como se muestra en la tabla N° 2, el biosensor desarrollado por Minami et al. (2016), se diferencia de los demás por tener el menor límite de detección con un 45 ppb, es decir, que es la mínima cantidad de nitrato que se puede detectar con fiabilidad con este sensor demostrando así su alto nivel de sensibilidad, este dispositivo cuenta con un electrodo a base de enzimas y bacterias, se caracteriza por ser rápido, sensible y tener una mayor duración, pero como limitación presenta la interferencia de H<sub>2</sub>S, ver la Tabla N°3.

Así mismo, la tabla N°2 demuestra que Chaisrirattanakua et al. (2019), desarrollaron un biosensor el cual tiene un LOD de 1.20 ppm, comparando con los biosensores estudiados este es el más alto, es decir que este sensor presenta como limitación una baja sensibilidad, cuenta con un electrodo de alambre de platino, además de ser un dispositivo portátil no requiere de asistencia técnica, cuenta con la posibilidad de reutilización en 400 muestras y está conectado a un sistema IoT, que se destaca como su mejor ventaja, ver Tabla N°3.

Los resultados de la presente investigación (Tabla N° 2 y 3) demuestran que en todos los artículos estudiados sobre biosensores la identificación de nitrato se realiza en campo lo cual permite un optima identificación de nitrato ya que la muestra se mantiene integra y se evita la presencia de fugaz en el análisis, así mismo demuestra que los biosensores son dispositivos portátiles, y tienen un proceso de fabricación rápido y simple, de esta manera se coincide con los autores Alahi y Chandra (2018), quienes señalan en su investigación que los biosensores tienen mejor sensibilidad y son adecuados para mediciones in situ para monitoreo remoto de la calidad del agua.

Los resultados de Sohail y Adeloju (2016) señalan que la determinación de nitratos mediante biosensores es una excelente alternativa no tóxica a todos los demás métodos analíticos disponibles, estas afirmaciones concuerdan con la investigación realizada por Jazib, Jawayria, Muhammad A, Muhammad F y Raza (2017), en donde el biosensor desarrollado se caracteriza por no utilizar reactivos y no ser tóxico ya que afirman que uno de los principales obstáculos en el desarrollo de biosensores es el uso de agentes biológicos sintéticos, por otro lado, los autores Minami et al. (2016), diferencian su investigación al desarrollar un biosensor desechable.

Los resultados de la presente investigación señalan que los biosensores como el que desarrolló Ren et al (2020) que cuenta con un electrodo de resina, membrana de intercambio anionico y zeolita, no presenta interferencia de oxígeno, por el contrario lo puede medir simultáneamente con el amonio, nitrato y fósforo, de esta manera discrepa lo señalado por Sohail y Adeloju (2016) quienes manifiestan que existe la necesidad de acelerar el desarrollo de biosensores de nitratos como una alternativa adecuada a las técnicas no enzimáticas mediante el uso de diferentes mediadores y estrategias para superar interferencia de oxígeno.

**Tabla 4:** Sensores electroquímicos

TIPO DE SENSOR	MATERIAL DEL ELECTRODO	LOD	ESCALA	REFERENCIA
Sensor Electroquímico	Electrodo en base a nanocables de cobre	1.35 M	Campo	Jihong, Yifan y Zongjian (2016)
Sensor Electroquímico	Electrodo en base a nanovarillas de oro	Sin información	Laboratorio	Akbari, Derakhshesh y Ebrahimizeh (2018)
Sensor Electroquímico	El electrodo se basa en polímeros con impresión de iones	1 a 10 mg/L	Campo	Alahi, Chandra y Burkitt (2017)
Sensor Electroquímico	Electrodo en base a grafeno	0.10 mg/L	Campo	Alahi, Chandra y Burkitt (2018)
Sensor Electroquímico	Electrodo de papel carbón modificado con partículas de selenio y oro	8,6 uM y 1,0 ppb	Campo	Bui (2016)
Sensor Electroquímico	Nano Electroodos	Sin información	Campo	Wierzbicka (2019)
Sensor Electroquímico	Electrodo basado en nanocables de cobre	10 uM	Campo	Patella, et al (2020)
Sensor Electroquímico	Ion Gel	Sin información	Campo	Sáez, et al (2016)

Elaboración propia.

Los métodos de detección electroquímica son métodos directos, los autores Jihong, Yifan y Zongjian (2016), desarrollaron un sensor electroquímico con el método de detección de voltamperometría, de esta manera este sensor presenta un rendimiento excelente: una respuesta lineal que va de 8 a 5860 M ( $R^2 = 0,999$ ), una sensibilidad de 1.375 A / M, y posee un rango lineal muy amplio, además de tener un límite de detección muy bajo. También se investiga su estabilidad, capacidad anti interferente y aplicación a la detección de nitratos en muestras reales. Así mismo, los investigadores Akbari, Derakhshesh y Ebrahimizeh (2018), presentaron su sensor que tenía el método colorimétrico para la detección de nitrato, es por ello que la concentración de nitrato en el agua se puede determinar monitoreando a simple vista y con un espectrómetro UV-Vis, pero, se necesitan más investigación sobre ello para hablar sobre su mecanismo.

Alahi, Chandra y Burkitt (2018), desarrollaron un sensor electroquímico, el cual tenía el método de detección que se basaba en espectroscopía de impedancia electroquímica (EIS), así mismo desarrollaron un sensor electromagnético que contaba con un método de detección por medio de espectrometría, también se analizó en sensor desarrollado por Patella, et al (2020), el cual se basaba en la detección electroquímica y Sáez et al (2016), el cual contaba con un método de detección colorimétrico.

Como se muestra en la tabla N<sup>o</sup>4, el sensor electroquímico desarrollado por los investigadores Alahi, Chandra y Burkitt (2018), destaca del resto por tener el mayor límite de detección de nitrato, registrando un 0.1 mg/L, también desarrolló un sistema de detección inteligente habilitado para Internet de las cosas (IoT) para medir la concentración de nitrato-N en tiempo real además que se incluyó en el sistema una compensación por temperatura, que aumentará la precisión de la medición.

Así mismo en la tabla N<sup>o</sup> 4 se describe que Patella et al (2020) y Alahi, Chandra y Burkitt (2017), desarrollaron sensores electroquímicos los cuales reportaron un LOD 10 uM y un rango de 1 a 10 mg/L respectivamente, teniendo en cuenta que Patella et al (2020), señala que su sensor es rápido, barato y puede funcionar con simples instrumentos, lo cual es una ventaja significativa, por otro lado, Alahi, Chandra y Burkitt (2017), indican que las limitaciones que presenta el sensor es que se puede reutilizar con precisión cinco veces, antes de que ocurran errores de medición, ver tabla N<sup>o</sup>4.

**Tabla 5:** Características de los sensores electroquímicos

TIPO DE SENSOR	CARACTERISTICAS	LIMITACIONES / VENTAJAS	REFERENCIA
<b>Sensor Electroquímico</b>	-Actividad más alta para la reducción de nitrato en medio ácido - Este sensor presenta un rendimiento excelente y una sensibilidad de 1.375 A / M.	- Comparado con sensores basados en Cu, este sensor basado en nanocables posee un límite de detección muy bajo lo cual es una ventaja muy clara.	Jihong, Yifan y Zongjian (2016)
<b>Sensor Electroquímico</b>	- La concentración de nitrato en el agua se puede determinar mediante monitoreo a simple vista.	- Se necesitan más trabajos para hablar sobre su mecanismo	Akbari, Derakhshesh y Ebrahimzadeh (2018)
<b>Sensor Electroquímico</b>	- Se utilizó un sistema de detección inteligente para medir los datos del sensor y transferir la data a un servidor en la nube basado en IoT para monitorear la concentración de nitrato-N en tiempo real	- La ventaja es que mide la concentración de nitrato en tiempo real y transfiere los datos a un servidor web - Las limitaciones que presenta el sensor es que se puede reutilizar con precisión cinco veces, antes de que ocurran errores de medición	Alahi, Chandra y Burkitt (2017)
<b>Sensor Electroquímico</b>	- El grafeno es libre de corrosión, protege los electrodos de la oxidación durante la medición, lo que ayuda a utilizar el sensor de forma repetitiva.	- El sistema de detección tiene conectividad WiFi para transferir los datos a un servidor en la nube para monitorear los datos en tiempo real - El costo es bajo, lo que ayuda a desarrollar un sistema de detección de bajo costo para monitorear en tiempo real	Alahi, Chandra y Burkitt (2018)
<b>Sensor Electroquímico</b>	- Es desechable, rentable para la detección de iones de nitrato en el agua de lagos, escorrentías contaminadas.	- La ventaja es que tiene mayor sensibilidad y selectividad en la detección de iones de nitrato, análisis rápido, económico y seguro, no requiere equipos complicados.	Bui, Brockgreitens, Snober y Abbas (2016)
<b>Sensor Electroquímico</b>	- Ofrece amplios rangos de detección, selectividad y respuesta rápida.	- De fácil operación	Elwira Wierzbicka (2019)
<b>Sensor Electroquímico</b>	- Sensor nano estructurado basado en una matriz de nanocables de cobre obtenidos con el método simple de deposición galvánica	- La limitación que presenta el sensor es la interferencia de los iones de cloruro en la detección, por otro lado sus ventajas son rapidez, barato, fácil de usar y puede funcionar con simples y pequeños instrumentos	Patella, et al (2020)
<b>Sensor Electroquímico</b>	- La detección de nitrato se realiza inyectando la muestra en el reservorio, donde todo el nitrato se reduce a nitrito	La ventaja de este dispositivo es que es barato, portátil y sin manipulación de reactivos.	Sáez, et al (2016)

Elaboración propia

Los resultados de la presente investigación (Tabla N° 4 y 5) demuestran que en la mayoría de los artículos estudiados sobre sensores electroquímicos, la identificación de nitrato se realiza en campo a excepción del sensor desarrollado por Akbari, Derakhshesh y Ebrahimizadeh (2018), basado en nanovarillas de oro, el cual realiza el análisis de nitrato en laboratorio, de esta manera se argumenta que este tipo de sensores son excelentes herramientas para la identificación de nitrato en primeras instancias, mientras que los autores Alahi y Chandra (2018), señalan en su investigación que los sensores electroquímicos tienen una buena sensibilidad con una operación simple pero no son adecuadas como dispositivos portátiles.

Los resultados descritos en la tabla N° 5 señalan que los sensores electroquímicos tiene mayor sensibilidad y selectividad en la detección de iones de nitrato cuentan con un análisis rápido, económico y seguro, además no requieren de equipos complicados, de esta manera se coincide con los autores Aizat, Ahmad, Sallehuddin, y Mohd (2017, p.223), quienes señalan que sensores electroquímicos planos se han vuelto populares en la determinación de contaminantes debido a su medición no destructiva, bajo costo, características de alto rendimiento como respuesta rápida y operación simple.

**Tabla 6:** Sensores electromagnéticos

TIPO DE SENSOR	MATERIAL DEL ELECTRODO	LOD	ESCALA	REFERENCIA
Sensor electromagnético	Fibra óptica	0.0017 mg/L	Laboratorio	Moo, Matjafri, Lim y Tan (2016)
Sensor electromagnético	Sensor de microondas	0.026 ml/L	Campo	Harnsoongnoen, Wanthong, Charoen-In y Siritaratiwatnorte (2018)
Sensor electromagnético	Electrodo de Plata	2.44 ppm	Laboratorio	Chaisriratanakul, et al (2016)
Sensor electromagnético	Modelo computacional, matriz de sensores	sin información	Laboratorio	Yunus, Mukhopadhyay y PUNCHIHewa (2011)
Sensor electromagnético	Modelo computacional, basado en ICA para estimar contaminación por nitrificación.	sin información	Laboratorio	Mohd, Mukhopadhyay y PUNCHIHewa (2015)

Elaboración propia

Los sensores electromagnéticos son un método indirecto en la identificación de nitrato, los investigadores Moo, Matjafri, Lim y Tan (2016), desarrollaron un sensor electromagnético el cual contaba con un método de detección basado en espectrofotometría, el sensor influyó en los resultados obtenidos y se dedujo que es un método más sencillo, económico, seguro para la contaminación ambiental y eficiente para la determinación de la concentración de nitrato y nitrito en muestras de agua reales.

Tabla 7: Características de los sensores electromagnéticos

TIPO DE SENSOR	CARACTERISTICAS	LIMITACIONES / VENTAJAS	REFERENCIA
<b>Sensor electromagnético</b>	- Otras especies químicas presentes en el agua no interfieren en la medición	- Análisis de muestras de pequeño volumen, rapidez de análisis, alta sensibilidad y selectividad sin necesidad de reactivos - La limitación es que el nitrato y el nitrito se miden en el rango de 0.0 mg / L a 50 mg / L.	Moo, Matjafri, Lim y Tan (2016)
<b>Sensor electromagnético</b>	- El sensor fue diseñado, fabricado y utilizado para medir experimentalmente la concentración de nitratos y fosfatos.	- Las ventajas del sensor son: estructura simple, tamaño compacto, fácil de fabricar, de bajo costo, no destructivo y es compatible para su integración en componentes de microondas. - Como limitación se describe una baja especificidad.	Harnsoongnoen, Wanthong, Charoen-In y Siritaratwatnorte (2018)
<b>Sensor electromagnético</b>	- El tiempo de respuesta fue de 90 s.	- Las ventajas de este sensor es que tiene una vida útil de 8 a 17 semanas	Chaisriratanakul, et al (2016)
<b>Sensor electromagnético</b>	- El modelo puede detectar la presencia de nitrato y sulfato agregados en agua destilada y es capaz de distinguir el nivel de concentración en la presencia de otros tipos de contaminantes	- El sistema y el enfoque presentado tiene el potencial de ser utilizado como una herramienta útil de bajo costo para el monitoreo de fuentes de agua	Mohamad, Faramarzi, Yunus, y Sallehuddin (2015)
<b>Sensor electromagnético</b>	- Se caracteriza también por tener el osciloscopio conectado a una PC donde las señales de salida y la impedancia del sensor se calcula con Lab View software.	- La ventaja de este sensor es que tiene el potencial de ser utilizado como una herramienta útil para el monitoreo de las fuentes de agua. - Se puede lograr una discriminación y estimación precisas de la concentración de nitratos.	Mohd, Mukhopadhyaya y Punchihewa (2015)

Fuente: Elaboración propia



Así mismo Chaisriratanakul, et al (2016), también señaló que la espectrofotometría fue el método de detección utilizado, teniendo como resultados un rango lineal de 5 a 60 ppm a una sensibilidad de 56 mV, el tiempo de respuesta fue de 90 segundos. Finalmente, este sensor de nitrato podría extender la vida útil total de tiempo de 8 a 17 semanas.

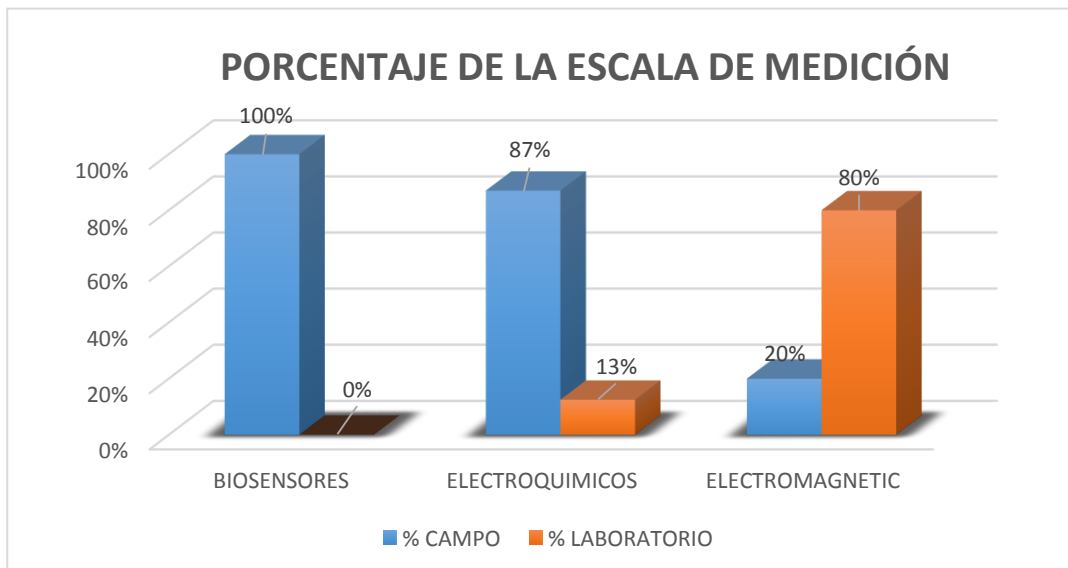
Los autores Harnsoongnoen, Wanthong, Charoen-In y Siritaratiwatnorte (2018), señalaron que su sensor contaba con la detección química para el análisis de nitrato, es por ello que el método propuesto puede proporcionar la sensibilidad adecuada para medición de nitrato en agua, pero, todavía tiene una baja especificidad. El sensor propuesto tiene una estructura simple, tamaño compacto, fácil de fabricar, de bajo costo, no destructivo y es compatible para la integración en componentes de microondas.

Como se muestra en la tabla n° 6, el sensor electromagnético desarrollado por los investigadores Moo, Matjafri, Lim y Tan (2016), destaca del resto por tener el mayor límite de detección de nitrato, registrando 0.0017 mg/L, lo cual conlleva a un análisis de muestras de pequeño volumen, rapidez de análisis, alta sensibilidad y selectividad sin necesidad de reactivos, pero, tiene como limitación el medir nitrato solo en el rango de concentración de 0.0 mg/L a 50 mg/L, ver la tabla N° 7. Por el contrario, Chaisriratanakul et.al. (2016), señalan que su sensor desarrollado muestra el menor límite de detección del grupo de sensores electromagnéticos con 2.44 ppm.

Los resultados de la presente investigación, ver la tabla N° 6 y 7, demuestran que, en la mayoría de los artículos estudiados sobre sensores electromagnéticos, la identificación de nitrato se realiza en laboratorio a excepción del sensor desarrollado por los investigadores Harnsoongnoen, Wanthong, Charoen-In y Siritaratiwatnorte (2018), el cual realiza la identificación de nitrato en campo, esta condición hace que los resultados de los análisis tengan un margen de error alto, por otro lado, se puede notar que todos los sensores estudiados tienen un alto límite de detección, es decir, que la selectividad y especificidad es óptima y cuentan con rapidez al revelar el resultado de la medición de nitrato, coincidiendo con los investigadores Sohail, Adeloju, (2016), quienes señalan que la determinación de

nitratos por electromagnetismo proporciona un método analítico rápido, pero este método está sujeto a graves interferencias de materia orgánica y especies iónicas.

**Figura 2:** Porcentaje de la escala de medición



Fuente: Elaboración propia

En la figura N°2, se identifica que, en las investigaciones la identificación de nitrato con biosensores el 100% se realiza en campo, mientras tanto en la identificación de nitrato con sensores electroquímicos el 87% se da en campo y el 13% en laboratorio, por otro lado, la medición de nitrato con sensores electromagnéticos solo el 20% se da en campo y el 80% en laboratorio.

**Figura 3:** Investigaciones realizadas en diferentes países.



Fuente: Elaboración propia.

## V. CONCLUSIONES

El objetivo de esta revisión fue explorar el uso de sensores en la identificación de nitrato, se discuten las características, ventajas y limitaciones de los biosensores, sensores electroquímicos y sensores electromagnéticos. De esta manera se determina que los biosensores tienen alta sensibilidad, son adecuados para mediciones in situ y para el control remoto de la calidad del agua, por otro lado, los sensores electroquímicos tienen una buena sensibilidad con una operación simple y los sensores electromagnéticos son muy sensibles y pueden ser adecuados para la detección de bajo nivel, sin embargo, estos producen desechos químicos y se necesita capacitación para manejar los instrumentos.

Respecto a los biosensores, se caracterizan por ser dispositivos portátiles, no requieren de reactivos ni asistencia técnica para interpretar los resultados, además de ser rápidos y de mayor duración, así mismo los sensores electroquímicos se caracterizan por tener un excelente rendimiento en un medio ácido, ofrecen amplios rangos de detección, selectividad y respuesta rápida además de tener una fácil operación, finalmente, los sensores electromagnéticos se caracterizan por su rápido tiempo de respuesta de 90 segundos, además, cuentan con una estructura simple, tamaño compacto, fácil de fabricar, de bajo costo y no son destructivos.

En cuanto a limitaciones de los sensores estudiados tenemos que los biosensores presentan la limitación de una baja sensibilidad y presentan la interferencia del oxígeno al identificar el nitrato, de la misma manera los sensores electroquímicos presentan interferencias de los iones de cloruro y se pueden reutilizar con precisión solo 5 veces, finalmente, los sensores electromagnéticos presentan una baja especificidad al medir nitrato y lo hacen en un rango de 0.0 mg/L hasta 50 mg/L.

## **VI. RECOMENDACIONES**

Se recomienda investigar sobre la utilización de sensores no considerados en esta investigación para tener un amplio rango de análisis en sus características, ventajas y limitaciones al momento de identificar parámetros como nitrato u otros.

Se recomienda comparar y contrastar el rendimiento analítico de diferentes sensores además de discutir los desafíos que enfrentan los diferentes tipos de sensores de nutrientes químicos.

En el transcurso de la revisión se observó que en Latinoamérica no existen muchos estudios referidos al desarrollo y uso de los sensores para la identificación de nitrato, es por ese motivo que se recomienda realizar investigaciones de índole experimental desarrollando sensores para la identificación de parámetros como nitrato y otros para agua como en el suelo.

## REFERENCIAS

ALBERT, Maria. La investigación educativa: Claves Teóricas. España: McGRAW-HILL. 2007. 265 pp. ISBN 978-84-481-5942-9

ALAHÍ Eshrat, CHANDRA Subhas, Detection methods of Nitrate in water: A Review. Science Direct [en línea]. (2018), [Fecha de consulta: 28 de abril de 2020]. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.sna.2018.07.026>

ALAHÍ, Eshrat; CHANDRA, Subhas; BURKITT, Lucy. Imprinted polymer coated impedimetric nitrate sensor for real-time water quality monitoring, *Sensors and Actuators B: Chemical* en línea]. 2017. [Fecha de consulta: 15 de noviembre de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.snb.2017.12.104>

ALAHÍ, Eshrat; CHANDRA, Subhas; BURKITT, Lucy. A temperature-compensated graphene sensor for nitrate monitoring in real-time application, *Sensors and Actuators B: Chemical* en línea]. 2018. [Fecha de consulta: 15 de noviembre de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.sna.2017.11.022>

AKBARIA, Alireza; DERAKHSHESH, Mino; EBRAHIMIZADEH, Majid, Nitrate ion effect on gold nanorods plasmon resonance behavior: A potential chemical sensor. *Inorganic Chemistry Communications*. [en línea]. 2018. [Fecha de consulta: 28 de abril de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.inoche.2018.10.023>.

AZMI, Aizat [et al]. Techniques in advancing the capabilities of various nitrate detection methods: A review. *Revista international Journal on smart sensing and intelligent systems* [en línea]. Febrero-junio 2017, n. °2. [Fecha de consulta: 28 de abril de 2020]. Disponible en <https://pdfs.semanticscholar.org/5401/d84daac83dae404ee68583870b929f9e05af.pdf>

ISSN: 1178-5608

DEL PILAR, Maria, Bases químicas del medio ambiente Madrid: Universidad Nacional de Educación a Distancia, 2017. 300pp. ISBN: 978 84 362 6805 8

BASTANI, Mehrdad y HARTER, Tomas, Source area management practices as remediation tool to address groundwater nitrate pollution in drinking supply wells, *Journal of Contaminant Hydrology*, [En línea]. 2019, [Fecha de consulta: 18 de mayo de 2020] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2019.103521>

BUI, Minh, et al., 2016. Dual detection of nitrate and mercury in water using disposable electrochemical sensors. *Biosensors and Bioelectronics* [En línea]. United States: University of Minnesota, (85), 280 – 286 p [Consulta: 10 de setiembre 2020}. ISSN 27183277. Disponible en: [https://www.mendeley.com/catalogue/e94e69bc-26da-3fab-8c91-3743c4889064/?utm\\_source=desktop&utm\\_medium=1.19.6&utm\\_campaign=open\\_catalog&userDocumentId=%7Badc3fd5d-48f3-45d6-b693-696499fd5142%7D](https://www.mendeley.com/catalogue/e94e69bc-26da-3fab-8c91-3743c4889064/?utm_source=desktop&utm_medium=1.19.6&utm_campaign=open_catalog&userDocumentId=%7Badc3fd5d-48f3-45d6-b693-696499fd5142%7D)

CHANG, Raymond. Química. 11a ed. Colombia: McGraw-Hill. 2013. 1004 pp. ISBN: 0 07 365601 1

CHAIRIRATTANAKUL, W., [et al] Modification of Polyvinyl Chloride Ion-selective Membrane for Nitrate ISFET Sensors, *Applied Surface Science* [En línea] 2020, [Fecha de consulta: 29 de Abril de 2020] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2020.14566>

CHAIRIRATTANAKUL, W., [et al] Durable nitrate sensor by surface modification. *Surface & Coatings Technology*. [En línea] 2026, [Fecha de consulta: 29 de octubre de 2020] Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.surfcoat.2016.04.052>

COLÁS, Pilar y BUENDÍA, Leonor. La investigación educativa. Sevilla: Ediciones Alfar. 1998. 364 pp. ISBN: 978-8478981427

GALLEGO, Alejandrina [et al.] Criterios de calidad y gestión del agua potable por. Madrid: Universidad Nacional de Educación a Distancia, 2018. 159 pp. ISBN: 978 84 362 7491 2

DAVID, WG, GONSALVES, K., HALBERSTADT, C., LAURENCIN, CT. Biomedical Nanostructures: Clinical Applications of Micro- and Nanoscale Biosensors. [En línea] 2008. [Fecha de consulta: 19 de mayo de 2020] Disponible en:

<https://www.ingentaconnect.com/content/asp/jbn/2009/00000005/00000003/art00009>

DELGADO, Martha. Aspectos éticos de toda investigación consentimiento informado ¿Puede convertirse la experiencia clínica en investigación científica?. Revista Colombiana de Anestesiología [en línea]. 2002, XXX(2), [fecha de Consulta 25 de Junio de 2020]. ISSN: 0120-3347. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=195118154004>

ESTEBAN, Soledad. Química y cultura científica. Madrid: Universidad nacional de educación a distancia, 2010. 213 pp. ISBN: 978 84 362 6182 0

HARNSOONGNOEN, Supakorn; [et al]. Microwave sensor for nitrate and phosphate concentration sensing. *Sensors Journal*. , [En línea], 2018. [Fecha de consulta: 29 de abril de 2020] Disponible en: <https://www.10.1109/JSEN.2018.2890462>

HANSEN, Birgitte, [et al]. Groundwater nitrate response to sustainable nitrogen management, *Scientific Reports*, [en línea] 2017, [Fecha de consulta: 18 de mayo de 2020] Disponible en: <https://www.nature.com/articles/s41598-017-07147-2>

HARTER, Thomas, et al. Nitrogen fertilizer loading to groundwater in the Central Valley. *Final report to the Fertilizer Research Education Program, Projects*, [En línea] 2017, [Fecha de consulta: 18 de mayo de 2020] Disponible en: [https://www.cdfa.ca.gov/is/ffldrs/frep/pdfs/CompletedProjects/15-0454\\_partialFR-Harter.pdf](https://www.cdfa.ca.gov/is/ffldrs/frep/pdfs/CompletedProjects/15-0454_partialFR-Harter.pdf)

HERNÁNDEZ, Roberto, FERNÁNDEZ, Carlos y BAPTISTA, Maria. Metodología de la investigación [en línea]. 6ta ed. México: MCGRAW-HILL, 2014, [fecha de consulta: 11 de junio de 2020]. Disponible en: <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>

KARUNAKARAN, RAJKUMAR Y BHARGAVA Clinical Applications of Micro- and Nanoscale Biosensors. [En línea] 2015. [Fecha de consulta: 19 de mayo de 2020]

LARIOS, Luis [et al]. Metahemoglobinemia en un lactante por consumo de agua con alto contenido de nitratos en Camagüey. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología* [en línea]. 2016, n.º3. [fecha de consulta: 30 de abril de 2020]. Disponible en <http://revepidemiologia.sld.cu/index.php/hie/article/view/50>  
ISSN: 1561-3003

LIANG, J., ZHENG, Y. y LIU, Z...Nanowire-based Cu electrode as electrochemical sensor for detection of nitrate in water, [En línea], 2016. [Fecha de consulta: 29 de abril de 2020] Disponible en: 10.1016 / j.snb.2016.03.145.

NOREÑA, Ana. Aplicabilidad de los criterios de rigor y éticos en la investigación cualitativa. *Revista Aquichan* [en línea]. Diciembre 2012, vol.12, n° 3, [Fecha de consulta: 23 de junio 2020]. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4322420>

PATELLA, [et al]. Copper nanowire array as highly selective electrochemical sensor of nitrate ions in water. *Talanta*. [en línea]. 2020. [Fecha de consulta: 27 de octubre de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2020.121643>

PLA, M. Investigación cualitativa; el rigor en la investigación cualitativa. *Revista Atención Primaria* [en línea]. Septiembre 1999, vol. 24, n° 5, [Fecha de consulta: 23 de junio 2020]. Disponible en <http://www.equity-la.eu/upload/arxius/20170622223015-Pla%20El%20rigor%20en%20la%20investigacion%20cualitativa.pdf>

REN, Mingyi, [et al]. A new DGT technique comprised in a hybrid sensor for the simultaneous measurement of ammonium, nitrate, phosphorus and dissolved oxygen. *Science of the Total Environment*. [En línea]. 2020, vol. 177 [Fecha de consulta: 22 de octubre de 2020] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138447>

REVSBECH, Niels, NIELSEN, Michael, FAPYANE, Deby, 2020. Ion selective amperometric biosensors for environmental analysis of nitrate, nitrite and sulfate. *Sensors (Switzerland)* [En línea]. Denmark: Aarhus University, (20), 1 – 12 p [Consulta: 08 de setiembre 2020]. ISSN 14248220. Disponible en:



[https://www.mendeley.com/catalogue/38a4cc3a-5302-3504-9551-a2b41c6b19ce/?utm\\_source=desktop&utm\\_medium=1.19.6&utm\\_campaign=open\\_catalog&userDocumentId=%7B00784095-d244-4d11-ac7b-dc8689e4af9c%7D](https://www.mendeley.com/catalogue/38a4cc3a-5302-3504-9551-a2b41c6b19ce/?utm_source=desktop&utm_medium=1.19.6&utm_campaign=open_catalog&userDocumentId=%7B00784095-d244-4d11-ac7b-dc8689e4af9c%7D)

ROGOVSKA Natalia [et al], Development of field mobile soil nitrate sensor technology to facilitate precision fertilizer management. *Precision Agric* [En línea]. 2018, [Fecha de consulta: 04 de mayo de 2020] Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11119-018-9579-0>

SAEZ, J [et al]. Ionogel-based Nitrite and nitrate sensor for water control at the Point-of-Need. *Revista Procedia Engineering* [en línea]. 2016, n.º [fecha de consulta: 29 de abril de 2020] Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705816338358>

ISSN: 1877-7058

SOHAIL, Manzar, ADELOJU, Samuel, 2016. Nitrate biosensors and biological methods for nitrate determination. *Talanta* [En línea]. Australia: Monash University, (153), 83 – 98 p [Consulta: 10 de setiembre 2020]. ISSN 00399140. Disponible en: [https://www.mendeley.com/catalogue/7582a04a-b543-388c-b05ed4699f6e3f10/?utm\\_source=desktop&utm\\_medium=1.19.6&utm\\_campaign=open\\_catalog&userDocumentId=%7B1c6603e3-8457-489b-beb3-fc4832a4d402%7D](https://www.mendeley.com/catalogue/7582a04a-b543-388c-b05ed4699f6e3f10/?utm_source=desktop&utm_medium=1.19.6&utm_campaign=open_catalog&userDocumentId=%7B1c6603e3-8457-489b-beb3-fc4832a4d402%7D)

SPRAGUE, Lori, HIRSCH, Robert y AULENBACH, Brent. Nitrate in the Mississippi River and its tributaries, 1980-2008: are we making progress? *Environmental Science & Technology*, [En línea] 2011, vol. 45, no 17, [Fecha de consulta: 18 de mayo de 2020] Disponible en: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es201221s>

SUAREZ, Martin. El saber pedagógico de los profesores de la universidad de los Andes Táchira y sus implicaciones en la enseñanza. Tesis (Doctor en Pedagogía). Madrid: Universidad Rovira I Virgili. Tarragona - Cataluña de España, 2007. ISBN 978 84 690 7627 9 Disponible en: <https://www.tdx.cat/handle/10803/8922#page=1>

MASSAH, Jafar y ASEFPOUR, Keyvan. An intelligent portable biosensor for fast and accurate nitrate determination using cyclic voltammetry. *biosystems*

*engineering*. . [en línea]. 2018, vol. 177 [Fecha de consulta: 17 de octubre de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2018.09.007>

TORRES, Mariela, SALAZAR, Federico y PAZ, Karim, Métodos de recolección de datos para una investigación. [en línea]. Guatemala:Facultad de Ingeniería - Universidad Rafael Landívar. [Fecha de consulta: 25 de junio de 2020]. Disponible en <http://148.202.167.116:8080/jspui/handle/123456789/2817>

MINAMI, Tsuyoshi, et al., 2016. Selective nitrate detection by an enzymatic sensor based on an extended-gate type organic field-effect transistor. *Biosensors and Bioelectronics* {En línea}. Japan, (81), 87 – 91 p {Consulta: 20 de setiembre 2020}. ISSN 18734235. Disponible en: [https://www.mendeley.com/catalogue/77730d43-d5a4-309c-935c-03d72288f3ed/?utm\\_source=desktop&utm\\_medium=1.19.6&utm\\_campaign=open\\_catalog&userDocumentId=%7Ba7ff643f-e74e-4d3e-a8d0-fab5b435da3e%7D](https://www.mendeley.com/catalogue/77730d43-d5a4-309c-935c-03d72288f3ed/?utm_source=desktop&utm_medium=1.19.6&utm_campaign=open_catalog&userDocumentId=%7Ba7ff643f-e74e-4d3e-a8d0-fab5b435da3e%7D)

MONTIEL, Silvia [et al]. Identificación de zonas de contaminación por nitratos en el agua subterránea de la zona sur de la Cuenca de México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* [en línea]. Enero-abril 2014, n.º2. [fecha de consulta: 28 de Abril de 2020]. Disponible en <http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v30n2/v30n2a3.pdf> ISSN: 0188-4999

MOO, Y [et al] New development of optical fibre sensor for determination of nitrate and nitrite in water. *Revista ScienceDirect* [en línea]. 2016, n. °3 [fecha de consulta: 28 de abril de 2020]. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0030402615011286>

MOSIER, Arvin, SYERS, Keith y FRENEY, Jonh. Agriculture and the Nitrogen Cycle, Assessing the Impacts of Fertilizer Use on Food Production and the Environment. *The Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE)*, [En línea] 2007, [Fecha de consulta: 19 de mayo de 2020] Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/262313732\\_Societal\\_responses\\_for\\_add](https://www.researchgate.net/publication/262313732_Societal_responses_for_add)

ressing\_nitrogen\_fertilizer\_needs\_balancing\_food\_production\_and\_environmental\_concerns ISBN 1-55963-708-0

MOHAMAD, Nor, et al., 2015. Nitrate and sulfate estimations in water sources using a planar electromagnetic sensor array and artificial neural network method. *IEEE Sensors Journal* {En línea}. Malaysia: Universiti Teknologi Malaysia, (15), 497 – 504 p [Consulta. 15 de setiembre 2020]. ISSN 1530437X. Disponible en: [https://www.mendeley.com/catalogue/c3318382-6b90-310a-9093-1813eccfdd73/?utm\\_source=desktop&utm\\_medium=1.19.6&utm\\_campaign=open\\_catalog&userDocumentId=%7B9f7f3efd-5b8b-4cdd-8fcf-c07340c71b77%7D](https://www.mendeley.com/catalogue/c3318382-6b90-310a-9093-1813eccfdd73/?utm_source=desktop&utm_medium=1.19.6&utm_campaign=open_catalog&userDocumentId=%7B9f7f3efd-5b8b-4cdd-8fcf-c07340c71b77%7D)

MUÑOZ, Eugenio, CONTRERAS, Alfonso y MOLERO, Mariano. *Ingeniería del Medio Ambiente*. Madrid: Universidad Nacional de Educación a Distancia, 2018. 346 pp.

DECRETO SUPREMO N° 004-2017, MINAM Disponible en: <https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/aprueban-estandares-de-calidad-ambiental-eca-para-agua-y-e-decreto-supremo-n-004-2017-minam-1529835-2/> ISBN:9788436274899

TAYLOR, Steve y BOGDAN, Rober, Introducción a los métodos cualitativos de investigación, [en línea], España: John Wiley and Sons, inc., 1987 [fecha de consulta: 28 de junio de 2020]. Disponible en: <http://mastor.cl/blog/wp-content/uploads/2011/12/Introduccion-a-metodos-cualitativos-de-investigaci%C3%B3n-Taylor-y-Bogdan.-344-pags-pdf.pdf>

TICHÝ, J, Fundamentals of Piezoelectric Sensorics: Mechanical, Dielectric, and Thermodynamical Properties of Piezoelectric Materials. *Springer Science & Business Media*. [En línea] 2010 [Fecha de consulta: 20 de mayo de 2020] Disponible en: [https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=gAYmeaiO8SMC&oi=fnd&pg=PR5&dq=Fundamentals+of+Piezoelectric+Sensorics:+Mechanical,+Dielectric,+and+Thermodynamical+Properties+of+Piezoelectric+Materials&ots=IkFmlrJQ2h&sig=ddqdPY-T2\\_WpF6onrUYfAyc42ug#v=onepage&q=Fundamentals%20of%20Piezoelectric%](https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=gAYmeaiO8SMC&oi=fnd&pg=PR5&dq=Fundamentals+of+Piezoelectric+Sensorics:+Mechanical,+Dielectric,+and+Thermodynamical+Properties+of+Piezoelectric+Materials&ots=IkFmlrJQ2h&sig=ddqdPY-T2_WpF6onrUYfAyc42ug#v=onepage&q=Fundamentals%20of%20Piezoelectric%20)

[20Sensorics%3A%20Mechanical%2C%20Dielectric%2C%20and%20Thermodynamical%20Properties%20of%20Piezoelectric%20Materials&f=false](https://www.researchgate.net/publication/320202020Sensorics%3A%20Mechanical%2C%20Dielectric%2C%20and%20Thermodynamical%20Properties%20of%20Piezoelectric%20Materials&f=false)

VALERDI, María. El tiempo libre de condiciones de flexibilidad del trabajo, [en línea]. 2009, [fecha de consulta: 28 de junio de 2020] Disponible en: <https://www.eumed.net/tesisdoctorales/2009/mavg/EL%20TIEMPO%20LIBRE%20EN%20CONDICIONES%20DE%20FLEXIBILIDAD%20DEL%20TRABAJO%20INTRODUCCION.htm>

VILLANUEVA, Juan, VAZQUEZ, Rubén, GARCIA, Carlos. Sensores de fibra óptica y sus aplicaciones en el medio ambiente. Espacio I+D Innovación más Desarrollo [en línea]. 2013, n.º3 [fecha de consulta: 01 de mayo de 2020] Disponible en <https://pdfs.semanticscholar.org/bc0e/6a30baeaeabe54189a3a1663ff304330b78f.pdf>

WAN, Yue, [et al] A novel electrochemical sensor based on Ag nanoparticles decorated multi-walled carbon nanotubes for applied determination of nitrite. Revista Food Control [en línea]. 2017, n.º [fecha de consulta: 30 de abril de 2020] Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956713516306284>  
ISSN: 0956-7135

WIERZBICKA, Elwira, 2020. Novel methods of nitrate and nitrite determination - a review. *Journal of Elementology* [En línea]. Poland: University of Warmia and Mazury in Olsztyn, (25), 97 – 106}. ISSN 16442296. Disponible en: [https://www.mendeley.com/catalogue/86197d51-2018-3bd9-99ff-e4f751d93b7e/?utm\\_source=desktop&utm\\_medium=1.19.6&utm\\_campaign=open\\_catalog&userDocumentId=%7B4e0f9b16-252d-4239-8067-106104538899%7D](https://www.mendeley.com/catalogue/86197d51-2018-3bd9-99ff-e4f751d93b7e/?utm_source=desktop&utm_medium=1.19.6&utm_campaign=open_catalog&userDocumentId=%7B4e0f9b16-252d-4239-8067-106104538899%7D)

YONG, Jin [et al]. Unexpected nationwide nitrate declines in groundwater of Korea. *Hydrological Processes*, [En línea] 2017, vol. 31, no 26, [Fecha de consulta: 18 de mayo de 2020] Disponible en: <https://doi.org/10.1002/hyp.11389>

YUNUS, M. MUKHOPADHYAY, S, PUNCHIHEWA, A. 2011. Application of independent component analysis for estimating nitrate contamination in natural

water sources using planar electromagnetic sensor. *Proceedings of the International Conference on Sensing Technology, ICST* [En línea]. New Zealand: School of Engineering and Advanced Technology Massey University, (1), 538 – 543 p  
[Consulta: 08 de setiembre 2020]. ISSN 21568065. Disponible en:  
[https://www.mendeley.com/catalogue/72ca20fa-0a79-350a-82f4-f3a5be44aed6/?utm\\_source=desktop&utm\\_medium=1.19.6&utm\\_campaign=open\\_catalog&userDocumentId=%7B15e13b48-30c4-4a70-83df-7881c2add9e6%7D](https://www.mendeley.com/catalogue/72ca20fa-0a79-350a-82f4-f3a5be44aed6/?utm_source=desktop&utm_medium=1.19.6&utm_campaign=open_catalog&userDocumentId=%7B15e13b48-30c4-4a70-83df-7881c2add9e6%7D)