



Universidad César Vallejo

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Métodos Eléctricos, Electroquímicos y Espectrocópicos de
Detección para el Tratamiento y Eliminación de Nitrato en el Medio
Ambiente: Revisión Sistemática**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
Ingeniera Ambiental

AUTORAS:

Esquivel Girao, Flor María (ORCID: 0000-0003-1131-7866)
Machuca Espinoza, Lily Morelia (ORCID:0000-0002-8177-6489)

ASESOR:

Dr. Lozano Sulca, Yimi Tom (ORCID: 0000-0002-0803-1261)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Tratamiento y Gestión de los Residuos

LIMA – PERÚ

2022

DEDICATORIA

Flor María Esquivel Girao

Primeramente, quiero dedicar esta tesis a Dios, porque sin él nada es posible, él es quien creó todo y nos permite estar en este mundo. Mis padres, especialmente a mi madre por darme la vida, este logro también es tuyo. A mi esposo, parte fundamental en mi vida al igual que mi futura hija, gracias a ti logró la culminación de mi formación profesional.

Lily Morelia Machuca Espinoza

Dedico esta investigación a mi familia en especial a mi hijo y esposo que con su gran apoyo incondicional me fue posible la culminación de mi formación profesional, así como la culminación de mi investigación.

Le dedico esta investigación a mi madre por ser el soporte en mi formación profesional.

AGRADECIMIENTOS

Flor María Esquivel Girao

Doy gracias a Dios por permitirme tener una gran experiencia dentro de esta honorable universidad, gracias a la universidad por permitir convertirse en un ser profesional en una carrera que tanto me apasiona, gracias a cada docente que hizo parte de este proceso integral de formación que deja como producto la terminación de mi tesis.

Lily Morelia Machuca Espinoza

A Dios, por brindarme fortaleza en esos momentos de dificultad y por toda su bendición a lo largo de mi vida.

Mi eterna gratitud a mis familiares, que supieron guiarme e impulsarme para cumplir con mis metas profesionales.

A la Escuela Académica Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad César Vallejo, así como a los docentes que me formaron profesionalmente.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
Índice de tablas	v
Índice de gráficos	vi
Índice de abreviaturas	vii
Resumen	viii
Abstract.....	ix
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	4
III. METODOLOGÍA	14
3.1. Tipo y diseño de investigación	14
3.2 Categoría, subcategoría y matriz de categorización	14
3.3 Escenario de estudio	16
3.4 Participantes	16
3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	16
3.6 Procedimientos	16
3.7 Rigor científico	18
3.8 Método de análisis de información	19
3.9 Aspectos éticos.....	19
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	20
V. CONCLUSIONES	29
VI. RECOMENDACIONES.....	30
REFERENCIA.....	31
ANEXOS	

Índice de tablas

<i>Tabla 1. Clasificación de Nitratos</i>	4
<i>Tabla 2. Contenidos máximos de nitratos en los productos alimenticios</i>	6
<i>Tabla 3. Matriz de Categorización Apriorística</i>	15
<i>Tabla 4. Métodos más usados para la detección de nitrato en el medio ambiente</i>	20
<i>Tabla 5. Materiales usados en los métodos eléctricos, electroquímicos y espectrocópicos</i>	23
<i>Tabla 6. Técnica que emplean los métodos eléctricos, electroquímicos y espectrocópicos de detección para el tratamiento y eliminación de nitrato</i>	25

Índice de gráficos

<i>Gráfico 1. Clasificación en grandes rasgos de las técnicas de detección de nitrato</i>	8
<i>Gráfico 2. Procedimiento de selección de artículos</i>	17
<i>Gráfico 3. Métodos más usados para la detección de nitrato</i>	21

Índice de abreviaturas

OMS	: Organización Mundial de la Salud
MCL	: Nivel máximo de contaminantes
NOC	: N-nitrosos
RMN	: Resonancia magnética nuclear
EPR	: Resonancia paramagnética de electrones
GCE	: Electrodo de carbono vítreo
rGO	: Óxido de grafeno reducido

Resumen

El presente estudio tuvo como objetivo analizar cuáles son los aspectos a saber más relevantes de los métodos eléctricos, electroquímicos y espectroscópicos en la detección para el tratamiento y eliminación de nitrato en el medio ambiente; presentando una metodología de tipo aplicada donde se realizó la selección de 69 artículos científicos los cuales pasaron posteriormente a un proceso de inclusión y exclusión.

Se obtuvo que, los métodos más usados son los métodos analíticos electroquímicos y químico eléctricos, con un 74% para ambos casos, mientras que la técnica electroscópica se aplicó en un 26% de los estudios. Los materiales usados son los nanomateriales; además, los materiales como las nanopartículas de metal/óxido de metal, el grafeno, los de carbono, películas electropoliméricas y una amalgama de ellas; presentan propiedades como sus dimensiones en la nanoescala; el cual proporciona una mayor área de superficie para la interacción con el analito, mejorando la sensibilidad y la detección de concentraciones mínimas. La técnica que emplean los métodos se encargan de mejorar la estabilidad y la sensibilidad de los biosensores de nitrato. Siendo entre ellos los sensores electroquímicos, biosensores, espectroscópicos, eléctricos (quimiresistores, condensadores y transistores de efecto de campo) los que más se aplican.

Palabras clave: Métodos eléctricos, electroquímicos, espectroscópicos, nitratos, medio ambiente

Abstract

The objective of this study was to analyze which are the most relevant aspects to know about electrical, electrochemical and spectroscopic methods in the detection for the treatment and elimination of nitrate in the environment; presenting an applied methodology where the selection of 69 scientific articles was carried out, which subsequently underwent a process of inclusion and exclusion.

It was obtained that the most used methods are the electrochemical and chemo-electrical analytical methods, with 74% for both cases, while the electroscopic technique was applied in 26% of the studies. The materials used are nanomaterials; in addition, materials such as metal/metal oxide nanoparticles, graphene, carbon nanoparticles, electropolymer films and an amalgam of them; present properties such as their dimensions in the nanoscale; which provides a greater surface area for interaction with the analyte, improving sensitivity and detection of minimum concentrations. The technique employed by the methods are responsible for improving the stability and sensitivity of nitrate biosensors. Among them, electrochemical sensors, biosensors, spectroscopic, electrical (chemiresistors, capacitors and field effect transistors) are the most commonly applied.

Keywords: Electrical, electrochemical, spectroscopic, nitrate, environmental, electrochemical and spectroscopic methods

I. INTRODUCCIÓN

La deposición de nitrógeno en la tierra se ha duplicado desde 1920 debido a las actividades antropogénicas mediante la producción y aplicación de fertilizantes nitrogenados (estiércol e inorgánicos), la combustión de combustibles fósiles y el uso de cultivos que fijan el nitrógeno, legumbres, etc. (Neumann B. et al., 2017, p.2).

Así mismo, cerca del 50% de los fertilizantes nitrogenados aplicados a nivel mundial se escurre de los campos para contaminar las aguas superficiales y subterráneas, lo que provoca el aumento de la concentración de nitratos en nuestros recursos hídricos (Blaisdell J. et al., 2019, p.1).

Además, las zonas costeras áridas dependen principalmente de los recursos de aguas subterráneas, lo que, junto con el crecimiento acelerado de la población, genera estrés hídrico y, a menudo, conduce a la contaminación de las aguas subterráneas debido a la intrusión de agua de mar en los recursos de agua dulce (Braga A. et al., 2020, p.1).

Pero, mediante un estudio se determinó que la contaminación por nitrato proviene principalmente de fuentes no puntuales, incluidas las prácticas agrícolas o las fugas en el sistema de alcantarillado, lo que lleva a un aumento de las concentraciones de NO_3^- y SO_4^{2-} en las aguas subterráneas (Erostate M. et al., 2020, p.2).

Siendo así que, después de los pesticidas, el nitrato ha atraído una atención considerable y se considera el segundo contaminante químico de las aguas superficiales y subterráneas (Sharma M. y Kumar M., 2018, p.2). Donde, la mayor preocupación de la contaminación por nitratos surge de las especies de amoníaco, nitrito, nitrógeno atmosférico y forma ligada de nitrógeno (Zhang Songhe et al., 2016, p.2).

Ya que, a causa de ello, es uno de los factores clave que conducen a la eutrofización y la consiguiente toxicidad para los organismos acuáticos, siendo el principal efecto tóxico del NO_3^- sobre los animales acuáticos que se debe a la conversión de los pigmentos transportadores de oxígeno (por ejemplo, la hemoglobina y la hemocianina) en formas incapaces de transportar oxígeno (Boyle M. et al., 2019, p.3).

Por otro lado, En el caso de las plantas acuáticas, cuando la captación de NO_3^- supera con creces la asimilación, puede producirse una acumulación de NO_3^- en los tejidos que causan daño oxidativo y acaban provocando la muerte celular (Isaza D. et al., 2020, p.4).

Por tal motivo, la detección de nitrato es una opción alternativa para monitorear la distribución de nitrato en diferentes cuerpos de agua. Donde los modelos eléctricos, electroquímicos y espectroscópicos de detección de nitrato en el medio ambiente, son la principal propuesta de solución debido a su sensibilidad, facilidad de uso y posibilidad de miniaturización se convierten en excepcionales (Schaidler L. et al., 2019, p.1).

Por tal motivo este estudio realiza la siguiente pregunta a resolver: ¿Cuáles son los aspectos a saber más relevantes de los métodos eléctricos, electroquímicos y espectroscópicos en la detección para el tratamiento y eliminación de nitrato en el medio ambiente?

Generándose así las siguientes preguntas específicas:

PE1: ¿Cuáles son los métodos más usados para la detección de nitrato en el medio ambiente?

PE2: ¿Cuáles son los materiales usados en los métodos eléctricos, electroquímicos y espectroscópicos de detección para el tratamiento y eliminación de nitrato en el medio ambiente?

PE3: ¿Cuál es la técnica que emplean los métodos eléctricos, electroquímicos y espectroscópicos de detección para el tratamiento y eliminación de nitrato en el medio ambiente?

De igual manera se planteó el objetivo de estudio: Analizar cuáles son los aspectos a saber más relevantes de los métodos eléctricos, electroquímicos y espectroscópicos en la detección para el tratamiento y eliminación de nitrato en el medio ambiente.

Y los siguientes objetivos específicos son:

OE1: Clasificar cuáles son los métodos más usados para la detección de nitrato en el medio ambiente

OE2: Determinar cuáles son los materiales usados en los métodos eléctricos, electroquímicos y espectrocópicos de detección para el tratamiento y eliminación de nitrato en el medio ambiente

OE3: Definir cuál es la técnica que emplean los métodos eléctricos, electroquímicos y espectrocópicos de detección para el tratamiento y eliminación de nitrato en el medio ambiente

El presente estudio busca estudiar trabajos existentes de los últimos 6 años de antigüedad acerca de los métodos eléctricos, electroquímicos y espectrocópicos de detección para el tratamiento y eliminación de nitrato en el medio ambiente; presentando así una justificación teórica del estudio, donde se enfoca en los futuros investigadores con el fin de despertar interés en la creciente necesidad de monitoreo ambiental adicionado a la necesidad de reducir la contaminación por nitrato.

II. MARCO TEÓRICO

Desde mediados de la década de 1920, el ser humano ha duplicado el ritmo natural de depósito de nitrógeno en la tierra mediante la producción y aplicación de fertilizantes nitrogenados (inorgánicos y estiércol), la combustión de combustibles fósiles y la sustitución de la vegetación natural por cultivos fijadores de nitrógeno, como la soja (Ward Mary H. et al., 2018, p.2).

La principal fuente antropogénica de nitrógeno en el medio ambiente son los fertilizantes nitrogenados y los niveles de nitrato en nuestros recursos hídricos han aumentado en muchas áreas del mundo en gran parte debido a las aplicaciones de fertilizantes inorgánicos y estiércol animal en áreas agrícolas (Nakagawa Kei et al., 2016, p.1).

Para ello, cabe mencionar que los nitratos y nitritos son básicamente compuestos que contienen nitrógeno y oxígeno; pueden ser de naturaleza orgánica o inorgánica (Sahoo P. et al., 2016, p.2). En general, cuando los nitratos son absorbidos en el interior de los organismos vivos, se convierten en nitritos (Serio Francesca et al., 2018, p.2).

Los nitratos se encuentran básicamente en los excrementos animales, desechos humanos, suelo, residuos de cultivos, fertilizantes nitrogenados., y en algunos residuos industriales también; son fácilmente solubles en agua y se transportan fácilmente a través de las corrientes de agua (Teng YasnGuo et al., 2019, p.3).

Los nitratos y su clasificación se muestran en la tabla 1.

Tabla N°1: Clasificación de Nitratos

Escriba	Nombre	Composición
Nitratos simples	Gwihabaite	$(\text{NH}_4, \text{K}) \text{NO}_3$
	nitratina	NaNO_3
	Nitro	KNO_3
	nitrobarita	$\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$
	nitrocalcita	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
	nitromagnesita	$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

Fases relacionadas con hidrotalcita	hidrombobomkulita	$(\text{Ni, Cu}) \text{Al}_4 [(\text{NO}_3)_2, (\text{SO}_4)] (\text{OH})_{12} \cdot 12 - 14\text{H}_2\text{O}$
	Mbobomkulita	$(\text{Ni, Cu}) \text{Al}_4 [(\text{NO}_3)_2, (\text{SO}_4)] (\text{OH})_{12} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$
	Nickelaluminita	$(\text{Ni, Cu}) \text{Al}_4 [(\text{SO}_4), (\text{NO}_3)_2](\text{OH})_{12} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$
	Sveite	$\text{KAl}_7 (\text{NO}_3)_4 \text{Cl}_2 (\text{OH})_{16} \cdot 8\text{H}_2\text{O}$
Nitrato-sulfatos compuestos	Darapskita	$\text{Na}_3 (\text{NO}_3) (\text{SO}_4) \cdot \text{H}_2\text{O}$
	humberstonita	$\text{K}_3 \text{Na}_7 \text{Mg}_2 (\text{NO}_3)_2 (\text{SO}_4)_6 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
	Ungemachita	$\text{K}_3 \text{Na}_8 \text{Fe} (\text{NO}_3)_2 (\text{SO}_4)_6 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
Nitratos básicos de cobre	gerhardtita	$\text{Cu}_2\text{NO}_3(\text{OH})_3$
	Rouaite	$\text{Cu}_2\text{NO}_3(\text{OH})_3$
	Likasita	$\text{Cu}_3 \text{NO}_3 (\text{OH})_5 2\text{H}_2\text{O}$
	Buttgenbachita	$\text{Ca Cu}_{36} (\text{NO}_3)_2 \text{Cl}_8 (\text{OH})_{62} \cdot 4 - 10\text{H}_2\text{O}$

Fuente: Verma P. y Ratan J., (2020)

Como se observa en la Tabla 1, los nitratos simples incluyen gwihabaita, nitratina, nitro, nitrobarita, nitrocalcita y nitromagnesita, se encuentran en cantidades de hasta miles de toneladas en cuevas secas, donde las tasas de evaporación son significativas.

El nitrato en este caso (junto con el ion amonio en el caso de la gwihabaita) generalmente se deriva de la descomposición del guano de murciélago o se deriva de la lixiviación de rocas volcánicas o sedimentarias que contienen nitrato (Chen J. et al., 2016, p.1).

Además, debido a que el nitrógeno es un nutriente crítico para el crecimiento y la productividad de las plantas se suministra a las plantas en las actividades agrícolas en forma de fertilizante o estiércol (Samanta P. et al., 2019, p.3). En consecuencia, el nitrógeno es transformado en nitrato (NO_3) por las bacterias Nitrosomonas y Nitrobacter durante el proceso de nitrificación, y luego puede promover el crecimiento de las plantas (Koh Dong Chan et al., 2017, p.1).

Pero, la contaminación de los recursos hídricos por nitrato procedente de fuentes agrícolas es una de las principales razones de la descalificación del agua dulce en todo el mundo (Beretta G. y Cossu R., 2018, p.7). Siendo en muchos casos la eutrofización severa de los cuerpos de agua superficiales, incluidos los arroyos, lagos e incluso las aguas costeras de los mares y océanos, se ha atribuido a la entrada de aguas subterráneas y corrientes contaminadas con nitratos (Bhattacharya A., 2019, p.4).

Además, también en el agua subterránea, el exceso de nitrato provoca el deterioro de la calidad del agua dulce a través de la descarga del flujo de base, y puede conducir a la eutrofización; así también, los altos niveles de nitrato en las aguas (Kawagoshi Y. et al., 2019, p.2).

Mientras que, para garantizar el máximo rendimiento de sus cultivos, los agricultores tienden generalmente a aportar un nitrógeno superior al que consumen las plantas, lo que provoca una acumulación excesiva de nitrato en el suelo a lo largo del tiempo (Khan S. y Ali J., 2018, p.21). Siendo así, que, debido a su carga negativa, el nitrato no se adsorbe a las partículas del suelo y, en su lugar, se transporta desde la capa del suelo hasta el acuífero a través de la infiltración de las precipitaciones o el riego (Shukla S. y Saxena A., 2018, p. 2).

Como consecuencia de la contaminación de las aguas subterráneas se genera un riesgo para la salud pública de las personas que las utilizan como agua potable, con efectos como la metahemoglobinemia en los bebés (Ahada S. y Suthar S., 2018, p.1). La gastropatía en los adultos y el cáncer gástrico debido a la formación de nitrosaminas (Karunanidhi D. et al., 2019, p.3).

Así, la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA) han fijado el nivel máximo de contaminantes (MCL) en el agua potable en 50 mg/L para el NO₃ y 10 mg/L para el NO₃-N. (ver tabla 2).

Tabla N°2: Contenidos máximos de nitratos en los productos alimenticios

Productos alimenticios	Niveles máximos (mg NO ₃ kg ⁻¹)	
Espinacas frescas (<i>Spinacia oleracea</i> L.)	-	3500

Espinacas en conserva, ultracongeladas o congeladas	-	2000
Lechuga fresca (<i>Lactuca sativa</i> L.) Lechuga protegida y cultivada al aire libre, excepto la lechuga iceberg	Cosechado del 1 de octubre al 31 de marzo: Lechuga cultivada bajo techo Lechuga cultivada al aire libre Cosechado del 1 de abril al 30 de septiembre: Lechuga cultivada bajo techo Lechuga cultivada al aire libre	4000 5000 4000 3000
lechuga iceberg	Lechuga cultivada bajo techo Lechuga cultivada al aire libre	2500 2000
Rucola (<i>Eruca sativa</i> , <i>Diplotaxis</i> sp., <i>Brassica tenuifolia</i> , <i>Sisymbrium tenuifolium</i>)	Cosechado del 1 de octubre al 31 de marzo Cosechado del 1 de abril al 30 de septiembre	7000 6000
Alimentos elaborados a base de cereales y alimentos infantiles para lactantes y niños pequeños		200

Fuente: Alvino A. y Barbieri G., (2016)

Como se observa en la Tabla 2, varios factores pueden influir significativamente en el nivel de nitratos en varios vegetales de hoja verde crudos, incluidos factores genéticos, agronómicos (p. ej., cantidad, momento y forma de fertilizante nitrogenado) y ambientales (p. ej., temperatura, exposición a la luz, fotoperíodo y dióxido de carbono).

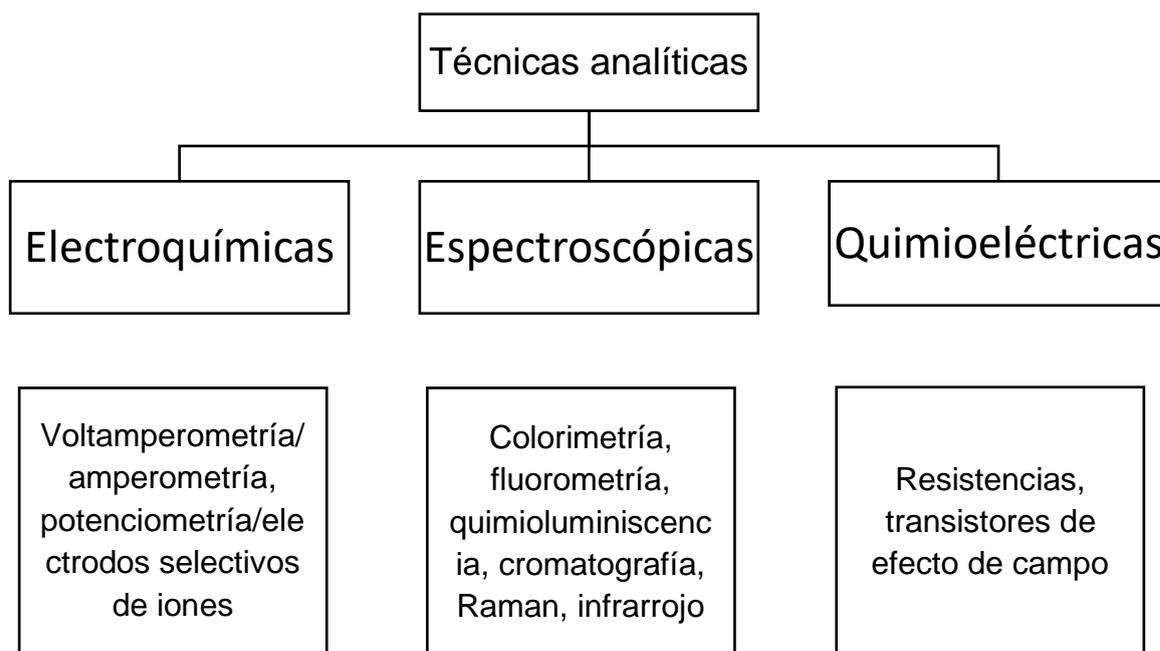
Debido a ello, el riesgo de cánceres específicos y defectos de nacimiento puede aumentar cuando se ingiere nitrato en condiciones que aumentan la formación de N-compuestos nitrosos y sobrepasan los niveles permitidos (Know Eunhye et al., 2021, p.2).

El nitrato es un precursor en la formación de compuestos N-nitrosos (NOC); la mayoría de los NOC son cancerígenos y teratógenos (hansen Birgitte et al., 2017, p.4). Por lo tanto, la exposición a los NOC formados tras la ingestión de nitrato procedente del agua potable y de fuentes dietéticas puede provocar cáncer, defectos de nacimiento u otros efectos adversos para la salud (Yeshno E. et al., 2019, p.3).

El nitrato se encuentra en muchos alimentos, y los niveles más altos se dan en algunas verduras de hoja verde y raíces y la ingesta media diaria a través de los alimentos se sitúa en el rango de 30-130 mg/día como NO₃ (7-29 mg/día de NO₃-N) (Zhai Y. et al., 2017, p.2). Dado que la formación de NOC es inhibida por el ácido ascórbico, los polifenoles y otros compuestos presentes en altos niveles en la mayoría de las verduras, la ingesta de nitratos en la dieta puede no dar lugar a una formación endógena sustancial de NOC (Schroeder Aline et al., 2020, p.1).

Los complejos procesos analíticos, los tediosos procedimientos de muestreo y las interferencias son los principales obstáculos para controlar la distribución de los nitratos en el medio ambiente (Malhotra B. et al., 2018, p.1). Se han desarrollado varios protocolos que incorporan los principales métodos analíticos para la detección de nitratos en diversas matrices ambientales (García segura S. et al., 2018, p.3). Ante ello se detalla en el gráfico 1 las técnicas existentes:

Gráfico N°1: Clasificación en grandes rasgos de las técnicas de detección de nitrato



Ante lo mencionado, los sensores electroquímicos son conocidos por sus rápidos tiempos de respuesta, su alta sensibilidad y su facilidad de uso, además, estos dispositivos de baja potencia requieren un pretratamiento mínimo de la muestra, y hay un amplio margen de miniaturización necesario para la portabilidad (Parveen S. et al., 2017, p.2).

Basándose en el diseño experimental, los sensores electroquímicos de nitrato pueden clasificarse como potenciométricos, que no implican flujo de corriente, y voltamétricos/amperométricos, que implican flujo de corriente bajo un potencial aplicado (Hernández-Vargas G. et al., 2018, p.1).

Por su parte, los métodos espectroscópicos de detección de nitratos son preferibles a otros métodos de detección y la alta sensibilidad de las técnicas espectroscópicas mejora la precisión de la detección; además, las técnicas espectroscópicas son rápidas y requieren relativamente menos volúmenes de muestra (Wang Shu et al., 2016, p.4).

Los métodos espectroscópicos, como la fluorescencia, la quimioluminiscencia, la colorimetría, la espectroscopia infrarroja, la espectroscopia Raman, la resonancia magnética nuclear (RMN), la espectroscopia de resonancia paramagnética de electrones (EPR), la espectroscopia de absorción atómica (AAS) y la espectrometría de masas se han utilizado para la detección de nitratos (Pham T. et al., 2017, p.8).

A continuación, se presentan los estudios que usan métodos eléctricos, electroquímicos y espectrocópicos en la detección para el tratamiento y eliminación de nitrato en el medio ambiente:

Liang Jihong et al., (2016); empleó en su estudio electrodo de Cu basado en nanocables como sensor electroquímico para la detección de nitrato en agua; donde los electrodos de Cu se preparan mediante recocido térmico de nanocables de Cu en una atmósfera de Ar a 600–800 °C durante 30 min. La investigación de los electrodos preparados mediante difracción de rayos X y microscopía electrónica de barrido indica que, después del recocido, se produce un aumento en el tamaño de los nanocables de Cu debido a la fusión de algunos nanocables de Cu de tamaño pequeño. Cuando la temperatura de recocido no es demasiado alta (por ejemplo, 600 °C), la fusión de nanocables de tamaño pequeño puede crear muchas uniones

estrechamente conectadas entre nanocables de gran tamaño, lo que lleva a la formación de una red de nanocables estable y porosa.

Bagheri Hasan et al., (2017); en su estudio presenta como objetivo fabricar un sensor electroquímico novedoso basado en nanopartículas de metal Cu en nanoláminas de óxido de grafeno reducido con nanotubos de carbono de paredes múltiples (Cu/MWCNT/RGO) para la determinación individual y simultánea de iones de nitrito y nitrato. La morfología del nanocompuesto preparado en la superficie del electrodo de carbono vítreo (GCE) se caracterizó mediante varios métodos, incluidos microscopía electrónica de barrido (SEM), microscopía de fuerza atómica (AFM) y espectroscopía de impedancia electroquímica. En condiciones experimentales óptimas, el GCE modificado mostró una excelente actividad catalítica hacia la electro-reducción de iones nitrito y nitrato (pH = 3.0) con un aumento significativo en las corrientes máximas catódicas en comparación con el GCE no modificado.

Li Shiyuan et al., (2019); presentó en su investigación la deposición química in situ de polímero conductor poli (3,4-etilendioxitiofeno) (PEDOT) en nanoláminas de óxido de grafeno reducido (rGO) a través de un método de polimerización hidrotérmal simple. Los grupos funcionales del óxido de grafeno (GO) se emplearon directamente como oxidante para desencadenar la polimerización del 3,4-etilendioxitiofeno (EDOT), y las nanoláminas de GO se redujeron a rGO en un entorno acuoso. Los resultados del rendimiento electroquímico revelaron que el electrodo compuesto rGO/PEDOT exhibe una alta capacitancia específica de alrededor de 202. 7F/g. El buen efecto sinérgico entre PEDOT y rGO también asegura una reversibilidad altamente estable del electrodo compuesto durante el proceso de carga/descarga, y más del 90 % de la capacitancia inicial se retiene después de 9000 ciclos de tiempo.

Essousi Houdi et al., (2019); en su artículo científico informa sobre un nuevo sensor químico basado en una matriz polimérica impresa con iones que utiliza nanocompuestos de nanopartículas de cobre y polianilina (IIP-Cu-NPs/PANI). Este sensor se preparó mediante electropolimerización utilizando anilina como monómero funcional y nitrato como plantilla en la superficie del electrodo de carbono vítreo (GC) modificado con nanopartículas de cobre. Donde tanto las superficies de los sensores electroquímicos con impresión iónica (IIP) como las no impresas (NIP) se evaluaron mediante espectrometría UV-Visible y microscopía electrónica de barrido (SEM); además, el análisis electroquímico se realizó mediante voltamperometría cíclica (CV),

voltamperometría de barrido lineal (LSV) y espectroscopia de impedancia (IS). A lo largo de este estudio, se optimizaron varios parámetros analíticos, como la velocidad de barrido, el valor de pH, la concentración de monómero y plantilla y los ciclos de electropolimerización.

Comisso Nicola et al., (2016); probó tres materiales porosos (Cu, una aleación de Cu-Ni con 70% at. Cu y Cu modificado con Rh) como electrodos para el electroanálisis de iones nitrato y nitrito, en medios neutros o básicos, utilizando principalmente una técnica de inyección de flujo. Se prepararon Cu y Cu-Ni porosos mediante electrodeposición a alta densidad de corriente, aprovechando la acción de plantilla transitoria de las burbujas de hidrógeno. Se obtuvieron electrodos de Cu modificado con Rh a partir de Cu poroso, mediante una reacción de desplazamiento galvánico. Todos los materiales tuvieron una respuesta lineal tanto para nitratos como para nitritos, en concentraciones de hasta 10^{-3} M, al menos.

Chen Legrand D. et al., (2017); presentó como objetivo de su investigación resaltar el potencial de usar un electrodo de oro modificado con una cantidad controlada de nanopartículas de plata como electrodo de trabajo para detectar bajas concentraciones de nitrato en soluciones de cloruro. Se ha determinado la carga óptima para la deposición de plata para obtener la señal más alta para la reducción de nitrato ya que las propiedades electrocatalíticas del electrodo bimetálico estaban directamente influenciadas por su composición. Según el Volcano plot obtenido la carga elegida fue de $-52 \mu\text{C}$ para un electrodo de 3 mm de diámetro, correspondiente a $4,6 \times 10^{15}$ átomos de Ag cm^{-2} . Se ha demostrado que el dioxígeno no participó en el mecanismo de reducción de nitrato. Para disminuir el límite de cuantificación, se prefirió la voltamperometría de onda cuadrada a la voltamperometría cíclica menos sensible.

Lebon Emilie et al., (2018); investigó la electrorreducción de iones de nitrato en agua de mar artificial en un sustrato de oro (E Au) funcionalizado con nanopartículas de plata (AgNP). Estos AgNP se generaron in situ en el sustrato de oro mediante la descomposición directa del precursor de plata metalorgánico N, N'-diisopropilacetamidinato [Ag (Amd)] en la fase líquida. Se depositaron AgNP muy pequeñas y bien dispersas sobre el electrodo de oro y luego se usaron como electrodo de trabajo (E Au/AgNP). La voltamperometría de onda cuadrada (SWV) se empleó con éxito para detectar iones de nitrato (NO_3^-) con un límite de detección (LOD) de

0,9 nmol·L⁻¹ en agua de mar artificial (pH = 6,0) sin preconcentración ni ajuste de pH.

Shadfar M. et al., (2017); planteó como objetivo determinar con precisión las concentraciones de iones nitrato en muestras de agua del medio ambiente utilizando métodos electroquímicos sensibles. Para ello se utilizó un electrodo de carbono vítreo modificado con un nanocompuesto formado por nanopartículas de plata, nanocelulosa y óxido de grafeno (Ag/NC/GO-GCE). La caracterización del nanocompuesto se investigó mediante microscopio electrónico de barrido (SEM), difracción de rayos X (XRD) y espectroscopia de impedancia electroquímica (EIS) y el electrodo Ag/NC/GO-GCE modificado se utilizó como nanosensor para la determinación electrocatalítica de nitrato por el método voltamétrico. Se encontró un límite de detección de 0,016 μM (S/N=3) en el rango lineal de 0,005 a 10 mM de nitrato. El electrodo Ag/NC/GO-GCE exhibió un efecto sinérgico hacia la determinación voltamperométrica de nitrato en presencia de óxido de grafeno, nanocelulosa y nanocatalizador de plata. El nanosensor desarrollado aquí mostró una excelente sensibilidad, selectividad y estabilidad hacia la determinación de nitrato en soluciones acuosas sin ninguna interferencia significativa. y se estudiaron diferentes concentraciones de nitrato y se obtuvieron las condiciones óptimas.

Pham Thanh et al., (2017); en su trabajo científico las características de una sonda de detección de rejilla de Bragg de fibra grabada (e-FBG), que se integró en la estructura del láser de fibra, se estudian mediante simulación numérica y experimentación. El sensor propuesto se demuestra para la determinación de la baja concentración de nitrato en un entorno acuático. Los resultados experimentales muestran que este sensor podría determinar el nitrato en muestras de agua en un rango de concentración bajo de 0 a 80 ppm con buena repetibilidad, respuesta rápida y sensibilidad promedio de $3,5 \times 10^{-3}$ nm/ppm con el límite de detección de 3 ppm. Concluyendo mediante los resultados obtenidos que el sensor e-FBG propuesto tiene un gran potencial para la determinación de concentraciones bajas de nitrato en agua en trabajos de campo al aire libre.

Fayose Toluñope et al., (2017); propone un enfoque simple y de bajo costo para la preparación de electrodos selectivos de iones (ISE) como una alternativa favorable a los electrodos tradicionales basados en papel. Esto involucró la aplicación de grafito de un simple lápiz doméstico a través de abrasión mecánica sobre una hoja de acetato

modificado. Donde los electrodos resultantes exhibieron excelentes propiedades de detección de todos los iones probados, incluido un amplio rango de respuesta dinámica, un tiempo de respuesta rápido y una estabilidad satisfactoria a largo plazo.

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

La investigación aplicada se centra en la aplicación directa en los problemas, es decir se genera conocimientos a través de la practica aplicando los datos o información sobre los hechos o fenómeno a investigar (Lozada, 2014). Se aplicó este tipo de investigación en el presente estudio a través de la aplicación directa sobre los métodos eléctricos, electroquímicos y espectroscópicos de detección para el tratamiento y eliminación de nitrato en el medio ambiente, generando así nuevas fuentes de información para los lectores o investigadores.

Siendo esto detallado por Linares E. et al., como el resumen crítico y reproducible que se realiza de resultados de publicaciones disponibles sobre un tema o pregunta clínica en particular (2018, p.2). Siendo usado por la razón que se utilizarán resultados de estudios existentes acerca de los métodos eléctricos, electroquímicos y espectroscópicos de detección del nitrato. Así mismo, se plasmará lo recopilado de las diferentes fuentes en su forma original evitando alterar el contenido con juicios o subjetividad.

Así también, para Baloyi W. et al., (2016, p.1); una revisión sistemática se refiere a una revisión de la literatura asociada con una pregunta de investigación claramente formulada que utiliza métodos explícitos sistemáticos para identificar, seleccionar y evaluar críticamente la investigación relevante de estudios publicados previamente relacionados con la pregunta en cuestión.

3.2 Categoría, subcategoría y matriz de categorización

En la tabla N° se presenta la matriz de categorización apriorística el cual se realizó basado en los problemas y objetivos específicos; se dividió en categorías y subcategorías.

Tabla N° 3: Matriz de Categorización Apriorística

Objetivos específicos	Problemas específicos	Categoría	Subcategoría	Unidad de Análisis
Clasificar cuáles son los métodos más usados para la detección de nitrato en el medio ambiente	¿Cuáles son los métodos más usados para la detección de nitrato en el medio ambiente?	Métodos de detección de nitrato (Schaidler L. et al., 2019, p.1)	Electroquímico Espectroscópico Eléctrico	(Hernández-Vargas G. et al., 2018, p.1), (Pham T. et al., 2017, p.8), (Yeshno E. et al., 2019, p.2)
Determinar cuáles son los materiales usados en los métodos eléctricos, electroquímicos y espectroscópicos de detección para el tratamiento y eliminación de nitrato en el medio ambiente	¿Cuáles son los materiales usados en los métodos eléctricos, electroquímicos y espectroscópicos de detección para el tratamiento y eliminación de nitrato en el medio ambiente?	Materiales usados en los métodos eléctricos, electroquímicos y espectroscópicos (García segura S. et al., 2018, p.3)	Nanomateriales de Cu Nanomateriales de Ag Nitrato reductasa Nanomateriales de Carbono	(Parveen S. et al., 2017, p.2), (Ghadiri Seid et al., 2017, p.1), (Ma Huan et al., 2020, p.2).
Definir cuál es la técnica que emplean los métodos eléctricos, electroquímicos y espectroscópicos de detección para el tratamiento y eliminación de nitrato en el medio ambiente	¿Cuál es la técnica que emplean los métodos eléctricos, electroquímicos y espectroscópicos de detección para el tratamiento y eliminación de nitrato en el medio ambiente?	Técnica que emplean los métodos eléctricos, electroquímicos y espectroscópicos (Malhotra B. et al., 2018, p.1)	Técnicas espectroscópicas Sensores electrónicos	(Malhotra B. et al., 2018, p.1), (Harnsoongno en S. et al., 2019, p.3), (Massah J. y Vakilian K., 2019, p.4).

Elaboración propia

3.3 Escenario de estudio

El presente estudio es una revisión sistemática por ello se encontraron distintos escenarios de estudios que fueron hallados en los diferentes artículos científicos que fueron fuente de información para el desarrollo de la investigación, dentro de ellas vimos laboratorios, campos de estudio y bibliotecas; por ellos estos espacios conforman el escenario de estudio de la investigación.

3.4 Participantes

Las fuentes que fueron usadas para extraer información y recopilar datos conforman a los participantes del presente estudio ya que estas plataformas formaron parte de la investigación al ser fuente de respaldo para este a través de los análisis de la información tomada de: Sciencedirect, Redalyc y Pubmed. Estas fuentes mencionadas son las participantes.

3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

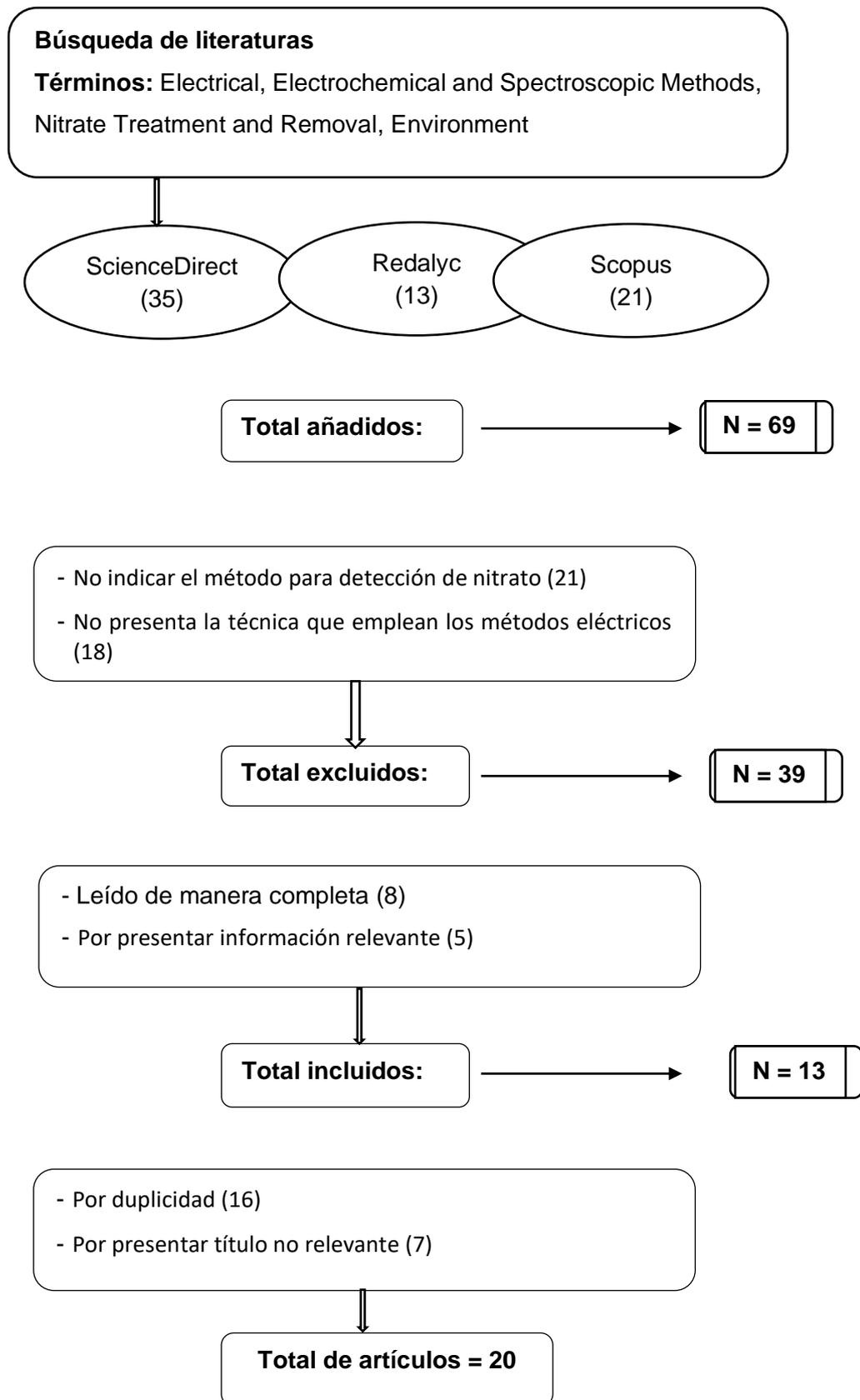
Este es un proceso que permite al individuo organizar y representar lo que se concibe de lo leído y analizado, por ello a través de lo analizado y sintetizado se aísla a un conjunto concreto de ideas que ayudaran a la fácil recuperación del contenido de las fuentes de información (Peña T. y Pírela J., 2007, p.59). Se analizó cada artículo científico usado en la investigación y se recuperaron las ideas relevantes que ayudaron a la obtención de resultados.

La ficha de análisis de contenido permite analizar el contenido de los textos, se usó esta herramienta para recuperar y organizar analíticamente la información que se tomó de diferentes fuentes y autores.

3.6 Procedimientos

Las fuentes se recolectaron mediante una serie de pasos, como se muestra en el siguiente grafico (ver gráfico N°2)

Gráfico N°2: Procedimiento de selección de artículos



3.7 Rigor científico

Todo trabajo de investigación pasa por una evaluación que permitirá tomar su información con atributos de calidad y validez, pudiéndose contemplar como conocimientos que ayuden a resolver problemáticas. Según Castillo E. y Vásquez M.L (2003) el rigor científico contempla tres esenciales criterios:

La credibilidad, se entiende que los individuos quienes formaron parte del estudio y participaron al narrar o describir los hechos suscitados puedan reconocer los resultados como verdaderos o una verdadera aproximación sobre lo que ellos piensan y sienten. El investigador cumple su rol más importante tratando de ingresar en el mundo de los participantes captando de la mejor manera la realidad de estos y concibiendo lo narrado de manera objetiva (Castillo E. y Vásquez M.L, 2003, p.165)

La investigación del presente trabajo se dio bajo estos aspectos detallados del criterio credibilidad, plasmando la información y extrayendo las ideas de manera en que no se alteraron al ser puestas en el presente trabajo.

La transferibilidad, en las investigaciones los fenómenos cumplen con características y aspectos que son intransferibles, por ello lo que se da mediante este criterio es que a través de las descripciones del entorno de los participantes y las perspectivas que puedan tener los investigadores se logre transferir los resultados a otros contextos (Castillo E. y Vásquez M.L, 2003, p.166). Este criterio se cumplió en el presente trabajo de investigación ya que se hizo una exhaustiva descripción de datos e información, a través del análisis de la información contenida.

La Auditabilidad, va permitir a través de la habilidad que pueda tener el lector o investigador a seguir los pasos que ha dejado el autor original y siguiendo esta ruta pueda concluir en resultados similares o congruentes (Castillo E. y Vásquez M.L, 2003, p.165). Teniendo en cuenta las ideas y decisiones que tomo el autor en relación con el estudio. La información contenida en el presente estudio podrá ser usada para investigaciones de diferentes contextos ya que se tiene un registro de cómo se obtuvieron los resultados.

3.8 Método de análisis de información

El método usado fue el de la triangulación, con esta técnica se usó distros datos y fuentes. La técnica más usada es la matriz de categorización la cual se divide en categorías y subcategorías.

Categorías:

- a. Técnica que emplean los métodos eléctricos, electroquímicos y espectrocópicos
- b. Métodos de detección de nitrato
- c. Materiales usados en los métodos eléctricos, electroquímicos y espectrocópicos

Subcategorías:

- a. Electroquímico
- b. Espectroscópico
- c. Eléctrico
- d. Nanomateriales de Cu
- e. Nanomateriales de Ag
- f. Nitrato reductasa
- g. Nanomateriales de Carbono
- h. Técnicas espectroscópicas
- i. Sensores electrónicos

3.9 Aspectos éticos

Se aplicaron los siguientes criterios para cumplir con lo estipulado.

Se hizo uso de la norma ISO 690 respetando la información usada en la presente investigación a través de la correcta aplicación de las referencias bibliográficas.

El programa Turnitin valido la originalidad del presente estudio.

Se respetó y se aplicó correctamente la guía de productos observables de la Universidad Cesar Vallejo.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo con la búsqueda de analizar cuáles son los aspectos a saber más relevantes de los métodos eléctricos, electroquímicos y espectroscópicos en la detección para el tratamiento y eliminación de nitrato en el medio ambiente se detallan las tablas 4, 5 y 6; donde se desarrollan los métodos más usados, los materiales usados y la técnica que emplean estos métodos.

Siendo así que el primer problema específico se desarrolla en la tabla 4; clasificando cuáles son los métodos más usados para la detección de nitrato en el medio ambiente; detallando mediante la comparación de 27 artículos científicos.

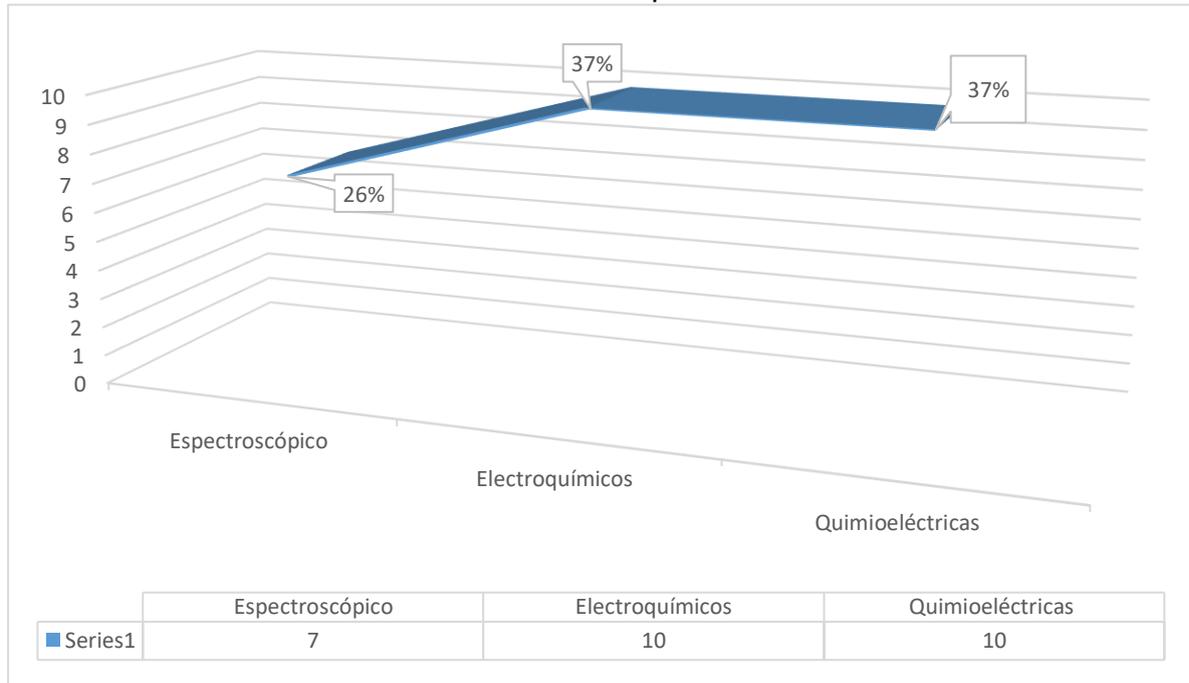
Tabla N° 4: Métodos más usados para la detección de nitrato en el medio ambiente

Autor	Tipo de método	Tiempo detecc.	Aplicación
Wang Shu et al., (2016)	Espectroscópico	20 muestras por hora	Agua del grifo, agua de río agua de lago
Shao Yanqiu et al., (2017)	Espectroscópico	No indica	Suelo
Parveen Shama et al., (2017)	Espectroscópico	15 seg.	No indica
Moo Y. et al., (2016)	Espectroscópico	No indica	Agua del grifo
Zhang Ya Nan et al., (2019)	Espectroscópico	milisegundos	No indica
Pham Thanh et al., (2017)	Espectroscópico	milisegundos	No indica
Yang Yaping et al., (2016)	Espectroscópico	No indica	Solución acuosa ácida y células vivas
Liang Jihong et al., (2016)	Electroquímicos / Voltamétrico / Amperométrico	No indica	Agua del grifo/del río
Bagheri Hasan et al., (2017)	Electroquímicos / Voltamétrico / Amperométrico	No indica	Alimentos, agua del grifo, agua mineral
Li Shiyuan et al., (2019)	Electroquímicos / Voltamétrico / Amperométrico	No indica	Agua de río (pretratada)
Essousi Houdi et al., (2019)	Electroquímicos / Voltamétrico / Amperométrico	No indica	Agua mineral/de pozo

Comisso Nicola et al., (2016)	Electroquímicos / Voltamétrico / Amperométrico	No indica	Agua mineral/de pozo
Chen Legrand D. et al., (2017)	Electroquímicos / Voltamétrico / Amperométrico	No indica	Agua de mar sintética
Lebon Emilie et al., (2018)	Electroquímicos / Voltamétrico / Amperométrico	No indica	Agua de mar sintética
Ahmadi M. et al., (2017)	Electroquímicos / Voltamétrico / Amperométrico	No indica	Agua del grifo/estanque
Wang Li et al., (2018)	Electroquímicos / Voltamétrico / Amperométrico	No indica	Agua del lago
Shadfar M. et al., (2017)	Electroquímicos / Voltamétrico / Amperométrico	No indica	Pozo, lluvia, mineral, agua urbana
Liu Yueling et al., (2020)	Quimioeléctricas	No indica	No indica
Piek Magdalena et al., (2018)	Quimioeléctricas	No indica	No indica
Schwarz J. et al., (2018)	Quimioeléctricas	No indica	Agua del grifo, del pozo
Ali Md et al., (2017)	Quimioeléctricas	35 seg.	Extracción suelo
Mallya A. et al., (2018)	Quimioeléctricas	~60seg.	No indica
Ahmadi M. et al., (2021)	Quimioeléctricas	20 seg.	No indica
Harnsoongnoen S. et al., (2019)	Quimioeléctricas	15 seg.	No indica
Chen Xiaoyan et al., (2018)	Quimioeléctricas	2-7 s	No indica
Minami Tsuyoshi et al., (2016)	Quimioeléctricas	20 seg.	No indica
Kim Jungyoon et al., (2020)	Quimioeléctricas	<3 seg.	No indica

Elaboración propia

Gráfico N°3: Métodos más usados para la detección de nitrato



Elaboración propia

Mediante el gráfico 3 se representó los tres métodos más usados encontrados en la tabla 4, donde la serie describe la cantidad de veces que fue usado cada método y el promedio porcentual se describe en la línea de tendencia el método electroquímico y quimioeléctrica los más usados en cantidad y por ende presentan mayor porcentaje de uso.

Pudiendo obtener el resultado del objetivo específico 1, de acuerdo con el gráfico 3 respecto a la tabla 4 que los métodos más usados para la detección de nitrato en el medio ambiente son los métodos analíticos electroquímicos y quimio eléctricos, con un 74% para ambos casos, mientras que la técnica electroscópico se aplicó en un 26% de los estudios.

Ello se debe a que los sensores electroquímicos son conocidos por sus rápidos tiempos de respuesta, su alta sensibilidad y su facilidad de uso; además, estos dispositivos de baja potencia requieren un pretratamiento mínimo de la muestra, y existe un amplio margen de miniaturización para su portabilidad (Lebon Emilie et al., 2018).

Además, entre los métodos electroquímicos la clasificación de técnicas Voltamétrico / Amperométrico fueron las que se usaron en todos los casos. Ello es corroborado por: Liang Jihong et al., (2016), Bagheri Hasan et al., (2017), Li Shiyuan et al., (2019),

Essousi Houdi et al., (2019), Comisso Nicola et al., (2016), Chen Legrand D. et al., (2017), Lebon Emilie et al., (2018), Ahmadi M. et al., (2017), Wang Li et al., (2018), Shadfar M. et al., (2017).

Pero estas afirmaciones son opuestas a lo indicado por Fayose Toluñope et al., (2017); quien manifiesta que, aunque los sensores electroquímicos de nitrato se han desarrollado considerablemente, el rendimiento del sensor (rango y límite de detección) sigue siendo inferior al de los sensores espectroscópicos o cromatográficos.

Pero ello es refutado por Wang Shu et al., (2016), quien señala que el método espectroscópico es químicamente más sensible por lo que proporciona una detección sensible.

Por otro lado, se estudió los materiales usados en los métodos eléctricos, electroquímicos y espectroscópicos de detección para el tratamiento y eliminación de nitrato en el medio ambiente, mostrando los resultados en la tabla 6.

Tabla N°5: Materiales usados en los métodos eléctricos, electroquímicos y espectroscópicos

Autor	Tipo de método	Material de detección	Aplicación
Wang Shu et al., (2016)	Espectroscópico	2% VCl ₃ in 50% HCl	Agua del grifo, agua mineral, agua de río, agua de lago
Shao Yanqiu et al., (2017)	Espectroscópico	No indica	Suelo
Parveen Shama et al., (2017)	Espectroscópico	Nanopartículas de CNT-Cu	No indica
5: Moo Y. et al., (2016)	Espectroscópico	Fibra óptica	Agua del grifo
Zhang Ya Nan et al., (2019)	Espectroscópico	NPs de Cu/Recubrimiento de CNT Fibra óptica reflectante fibra óptica	No indica
Pham Thanh et al., (2017)	Espectroscópico	Fibra grabada Bragg grating	No indica
Yang Yaping et al., (2016)	Espectroscópico	Polímero π -conjugado	Solución acuosa ácida y células vivas

Liang Jihong et al., (2016)	Electroquímicos / Voltamétrico / Amperométrico	Cu Nanomateriales	Agua del grifo/del río
Bagheri Hasan et al., (2017)	Electroquímicos / Voltamétrico / Amperométrico	Cu Nanomateriales	Alimentos, agua del grifo, agua mineral
Li Shiyuan et al., (2019)	Electroquímicos / Voltamétrico / Amperométrico	Cu Nanomateriales	Agua de río (pretratada)
Essousi Houdi et al., (2019)	Electroquímicos / Voltamétrico / Amperométrico	Cu Nanomateriales	Agua mineral/de pozo
Comisso Nicola et al., (2016)	Electroquímicos / Voltamétrico / Amperométrico	Cu Nanomateriales	Agua mineral/de pozo
Chen Legrand D. et al., (2017)	Electroquímicos / Voltamétrico / Amperométrico	Ag Nanomateriales	Agua de mar sintética
Lebon Emilie et al., (2018)	Electroquímicos / Voltamétrico / Amperométrico	Ag Nanomateriales	Agua de mar sintética
Ahmadi M. et al., (2017)	Electroquímicos / Voltamétrico / Amperométrico	Nitrato reductasa	Agua del grifo/estanque
Wang Li et al., (2018)	Electroquímicos / Voltamétrico / Amperométrico	Carbono Nanomaterial	Agua del lago
Shadfar M. et al., (2017)	Electroquímicos / Voltamétrico / Amperométrico	Carbono Nanomaterial	Pozo, lluvia, mineral, agua urbana
Liu Yueling et al., (2020)	Quimioeléctricas	Ionóforo de nitrato VI, TDMAC, o-NPOE, PVC	No indica
Piek Magdalena et al., (2018)	Quimioeléctricas	Ionóforo de nitrato V, TDMAC, PVC, o-NPOE	No indica
Schwarz J. et al., (2018)	Quimioeléctricas	TDMAN, PVC, ftalato de dibutilo	Agua del grifo, del pozo
Ali Md et al., (2017)	Quimioeléctricas	Nitrato reductasa/PEDOT NFs-GO	Extracción suelo
Mallya A. et al., (2018)	Quimioeléctricas	Polímero conjugado/MWCNT	No indica
Ahmadi M. et al., (2021)	Quimioeléctricas	Nanopartículas de grafeno a partir de HDPE	No indica
Harnsoongnoen S. et al., (2019)	Quimioeléctricas	Condensador interdigitado eléctrico-LC resonador	No indica
Chen Xiaoyan et al., (2018)	Quimioeléctricas	RGO-TEBAC	No indica

Minami Tsuyoshi et al., (2016)	Quimioeléctricas	Nitrato reductasa	No indica
Kim Jungyoon et al., (2020)	Quimioeléctricas	PVC/NPOE/ionóforo de nitrato/ Grafeno	No indica

Elaboración propia

De acuerdo con los resultados mostrados en la comparación de la tabla 5 se pudo determinar que los materiales usados en los métodos eléctricos, electroquímicos y espectrocópicos de detección para el tratamiento y eliminación de nitrato en el medio ambiente son los nanomateriales; ello debido a que los nanomateriales incorporados con elementos de detección han ganado considerable atención para la aplicación de la detección en los últimos tiempos (Malhotra y Ali, 2018, p.6).

Además, los materiales como las nanopartículas de metal/óxido de metal, el grafeno, los de carbono (CNT), películas electropoliméricas y una amalgama de ellas; presentan propiedades como sus dimensiones en la nanoescala; el cual proporciona una mayor área de superficie para la interacción con el analito, mejorando así la sensibilidad y la detección de concentraciones mínimas de analitos (Lebon Emilie et al., 2018).

Esto es corroborado por: Liang Jihong et al., (2016), Bagheri Hasan et al., (2017), Li Shiyuan et al., (2019), Essousi Houdi et al., (2019), Comisso Nicola et al., (2016), Chen Legrand D. et al., (2017), Lebon Emilie et al., (2018), Wang Li et al., (2018), Shadfar M. et al., (2017).

Así mismo, se ha informado la eficiencia de la utilización de moléculas orgánicas conjugadas, nano materiales de carbono, nano materiales metálicos y compuestos de dos o más de ellos para los sensores eléctricos de nitrato (Ahmadi M. et al., 2021).

Por otro lado, se buscó definir cuál es la técnica que emplean los métodos eléctricos, electroquímicos y espectrocópicos de detección para el tratamiento y eliminación de nitrato en el medio ambiente, para lo cual se realizó la clasificación de estudios en la tabla 6.

Tabla N°6: Técnica que emplean los métodos eléctricos, electroquímicos y espectrocópicos de detección para el tratamiento y eliminación de nitrato

Sensores espectroscópicos		
Material de detección	Técnica	Referencia
2% VCl ₃ en HCl 6 N	NO ₃ - a NO ₂ - reducción + Ensayo de Griess	Garcia R. et al., 2014
2% VCl ₃ en 50% HCl	Reducción de NO ₃ - a NO ₂ - + ensayo de Griess Inyección automática de flujo análisis	Wang S. et al., 2016
No indica	FTIR ATR, Mínimo Cuadrado Parcial Square	Shao Y. et al., 2017
Nanopartículas de CNT-Cu	Fibra óptica de superficie Resonancia de Plasmón	Paarven S. et al., 2017
Grupo amino funcionalizado GO	Absorción UV-Vis	Ren W. et al., 2016
Fibra óptica	Absorción UV-Vis	Moo Y. et al., 2016
NPs de Cu/Recubrimiento de CNT Fibra óptica reflectante	Resonancia de Plasmón de Superficie	Zhang Ya Nan et al., 2019
Fibra grabada Bragg grating	Absorción UV-Vis	Pham T. et al., 2017
GO	Apagado de fluorescencia	Tang Hua et al., 2016
Membrana selectiva de nitrato membrana modificada Microrresonador	Desplazamiento de la resonancia	Zhang Z. et al., 2021
Sensores eléctricos		
Material de detección	Técnica	Referencia
Nitrato reductasa/PEDOT NFs-GO	Impedimento	Ali Md et al., 2017
Polímero conjugado/MWCNT	Chemiresistor	Mallya A. et al., (2018)
Nanopartículas de grafeno a partir de HDPE	Características I-V	Ahmadi M. et al. (2021)
Condensador interdigitado eléctrico-LC resonador	Microondas detección	Harnsoongnoen S. et al. (2019)
RGO-TEBAC	FET	Chen X. et al. (2018)
Nitrato reductasa	OFET	Minami T. et al. (2016)
PVC/NPOE/ionóforo de nitrato/ Grafeno	ISFET	Kim J. et al. (2020)

PVC recubierto de nitrógeno	ISFET	Chaisriratanakul W. et al. (2020)
Membrana selectiva de nitrato recubierta grafeno CVD	Solución de gated ISFET	Kim J. et al. (2020)

Elaboración propia

De acuerdo con la tabla 6 se tiene que la técnica que emplean los métodos eléctricos, electroquímicos y espectrocópicos de detección para el tratamiento y eliminación de nitrato en el medio ambiente se encargan de mejorar la estabilidad y la sensibilidad de los biosensores de nitrato. Siendo entre ellos los Sensores electroquímicos, biosensores, sensores espectroscópicos, sensores eléctricos (quimiresistores, condensadores y transistores de efecto de campo) los que más se aplican.

Pero entre los estudios mostrados en la tabla 6, las técnicas espectroscópicas de detección de nitratos son preferibles a otras técnicas de detección; ello es también corroborado por Garcia R. et al., 2014, Wang et al., 2016, Shao et al., 2017, Paarven et al., 2017, Ren et al., 2016, Moo et al., 2016, Zhang et al., 2019, Pham et al., 2017, Tang et al., 2016, Zhang et al., 2021.

Ello es debido a que la alta sensibilidad de los métodos espectroscópicas mejora la precisión de la detección; además, los métodos espectroscópicos son rápidas y requieren relativamente menos volúmenes de muestra.

Los métodos espectroscópicos, como la fluorescencia, la quimioluminiscencia, la colorimetría, la espectroscopia infrarroja, la espectroscopia Raman, la resonancia magnética nuclear (RMN), la espectroscopia de resonancia paramagnética de electrones (EPR), la espectroscopia de absorción atómica (AAS) y la espectrometría de masas se han utilizado para la detección de nitratos.

Así también de acuerdo con Ma Hua et al., (2020, p.4); los métodos espectroscópicos pueden clasificarse en tres según el enfoque analítico; en el método directo, la concentración de nitrato se determina directamente por colorimetría, absorción UV cromatografía, etc. En la espectroscopia catalítica, el efecto catalítico del nitrato en la oxidación de ciertos indicadores o colorantes orgánicos y el cambio espectroscópico resultante y el tercer enfoque se basa en la complejación del nitrato y la medición del cambio resultante en concentración del agente complejante. Así lo demuestran; Wang S. et al., 2016, Garcia R., 2014 y Ren et al., 2016.

Por otro lado, en el estudio de Kalimuthu P. et al., (2021, p.2), se aisló NR del hongo *Neurospora crassa* y se incrustó en una matriz de biopolímero de quitosano para la detección de nitrato; donde el biosensor retuvo más del 70% de la respuesta durante un período de 3 meses, lo que pone de manifiesto su longevidad.

Así también, la enzima nitrato reductasa truncada aislada de la planta *Arabidopsis thaliana* se combina con un mediador artificial de transferencia de electrones para la detección amperométrica de nitrato a pH fisiológico (Minami T. et al., 2016, p.1). Así también ello es apoyado por Kalimuthu P. et al., (2016, p.2); quien menciona que el nitrato se reduce enzimáticamente y el mediador de electrones reduce la forma oxidada del NR y esto mejora la respuesta de reducción electrocatalítica y mejora la sensibilidad a 14 nA/μM.

V. CONCLUSIONES

Se puede concluir que los aspectos a saber más relevantes de los métodos eléctricos, electroquímicos y espectroscópicos en la detección para el tratamiento y eliminación de nitrato en el medio ambiente son las características, tipos de los métodos y materiales usados para la detección; donde los métodos electroquímicos y químico eléctricos, así como los nanomateriales y los sensores electroquímicos, biosensores, sensores espectroscópicos, sensores eléctricos los más relevantes.

Siendo así que, los métodos más usados para la detección de nitrato son los métodos analíticos electroquímicos y químico eléctricos, con un 74% para ambos casos, mientras que la técnica electroscópico se aplicó en un 26% de los estudios. Ello se debe a que los sensores electroquímicos son conocidos por sus rápidos tiempos de respuesta, su alta sensibilidad y su facilidad de uso; además, estos dispositivos de baja potencia requieren un pretratamiento mínimo de la muestra, y existe un amplio margen de miniaturización para su portabilidad.

Los materiales usados en los métodos eléctricos, electroquímicos y espectroscópicos de detección para el tratamiento y eliminación de nitrato son los nanomateriales; ello debido a que los nanomateriales incorporados con elementos de detección han ganado considerable atención para la aplicación de la detección en los últimos tiempos. Además, los materiales como las nanopartículas de metal/óxido de metal, el grafeno, los de carbono (CNT), películas electropoliméricas y una amalgama de ellas; presentan propiedades como sus dimensiones en la nanoescala; el cual proporciona una mayor área de superficie para la interacción con el analito, mejorando así la sensibilidad y la detección de concentraciones mínimas de analitos.

La técnica que emplean los métodos de detección para el tratamiento y eliminación de nitrato se encargan de mejorar la estabilidad y la sensibilidad de los biosensores de nitrato. Siendo entre ellos los sensores electroquímicos, biosensores, sensores espectroscópicos, sensores eléctricos (quimiresistores, condensadores y transistores de efecto de campo) los que más se aplican. Pero las técnicas espectroscópicas de detección de nitratos son preferibles a otras técnicas de detección, ello es debido a que la alta sensibilidad de los métodos espectroscópicas mejora la precisión de la detección; además, los métodos espectroscópicos son rápidas y requieren relativamente menos volúmenes de muestra.

VI. RECOMENDACIONES

Ante los estudios revisados y mediante los conocimientos adquiridos se pudo observar la falta de estudios hacia el estudio de las técnicas de detección para el tratamiento y eliminación de nitrato; por ende, se recomienda realizar estudios teóricos y prácticos para desarrollar técnicas que eliminen el nitrato del medio ambiente; así mismo, se realizan a los futuros investigadores interesados las siguientes recomendaciones prácticas:

- 1) Se recomienda en el presente estudio el uso de los tipos de los métodos y materiales usados para la detección; donde los métodos electroquímicos y quimio eléctricos, así como los nanomateriales y los sensores electroquímicos, biosensores, sensores espectroscópicos, sensores eléctricos ya que estas son las más relevantes.
- 2) Se recomienda diseñar una ruta más ecológica y novedosa, como el empleo de diferentes nanocompuestos, nanotubos de halloysita y nanorods para eliminar el nitrato, ya que, está comprobado que puede mejorar la eficacia de la eliminación del nitrato.
- 3) El desarrollo en el campo de la nanociencia y sus técnicas puede superar las limitaciones de los nanomateriales, por ello es recomendado realizar mayores estudios prácticos realizando diversas aplicaciones y mejorando los ya existentes.
- 4) Por último, aunque, las técnicas de detección parecen ser una técnica más adecuada y fiable para la estimación cuantitativa y cualitativa de los iones de nitrato del suelo y del agua, es necesario investigar en el futuro para desarrollar técnicas sofisticadas que eliminen el nitrato del medio ambiente y detecten su presencia por encima de los límites permitidos.

REFERENCIAS

1. AHADA, Chetan PS; SUTHAR, Surindra. Groundwater nitrate contamination and associated human health risk assessment in southern districts of Punjab, India. *Environmental science and pollution research*, 2018, vol. 25, no 25, p. 25336-25347. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2581-2>
2. AHMADI, Mehdi, et al. Removal of nitrate from aqueous solution using activated carbon modified with Fenton reagents. *Desalination and water treatment*, 2017, vol. 76, p. 265-275. Disponible en: <https://doi.org/10.5004/dwt.2017.20705>
3. AHMADI, Mohammad Taghi, et al. Graphene Nanoparticle-Based, Nitrate Ion Sensor Characteristics. *Nanomaterials*, 2021, vol. 11, no 1, p. 150. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/nano11010150>
4. ALI, Md Azahar, et al. Microfluidic impedimetric sensor for soil nitrate detection using graphene oxide and conductive nanofibers enabled sensing interface. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 2017, vol. 239, p. 1289-1299. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.snb.2016.09.101>
5. ALVINO, Arturo; BARBIERI, G. Vegetables of temperate climates: leafy vegetables. *The Encyclopedia of Food and Health*; Caballero, B., Finglas, P., Toldrá, F., Eds, 2016, p. 393-400. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00712-1>
6. BAGHERI, Hasan, et al. Composite of Cu metal nanoparticles-multiwall carbon nanotubes-reduced graphene oxide as a novel and high performance platform of the electrochemical sensor for simultaneous determination of nitrite and nitrate. *Journal of hazardous materials*, 2017, vol. 324, p. 762-772. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.11.055>
7. BALOYI, Wilma ten Ham. Systematic review as a research method in postgraduate nursing education. *health sa gesondheid*, 2016, vol. 21, no 1, p. 120-128. Disponible en:

8. BHATTACHARYA, A. Nitrogen-use efficiency under changing climatic conditions. *Changing climate and resource use efficiency in plants*, 2019, p. 181-240. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816209-5.00004-0>
9. Beretta, G. P., & Cossu, R. (2018). Groundwater Quality Monitoring in Landfill Areas. *Solid Waste Landfilling*, 985–1034. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-407721-8.00048-6>
10. BLAISDELL, Julie, et al. Prenatal exposure to nitrate in drinking water and the risk of congenital anomalies. *Environmental research*, 2019, vol. 176, p. 108553. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.108553>
11. BOYLE, M.; BUCKLEY, J. P.; QUIRÓS-ALCALÁ, L. Associations between urinary organophosphate ester metabolites and measures of adiposity among US children and adults: NHANES 2013–2014. *Environment international*, 2019, vol. 127, p. 754-763. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.03.055>
12. BRAGA, Armando César Rodrigues; SERRAO-NEUMANN, Silvia; DE OLIVEIRA GALVÃO, Carlos. Groundwater management in coastal areas through landscape scale planning: a systematic literature review. *Environmental management*, 2020, vol. 65, no 3, p. 321-333. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s00267-019-01244-w>
13. CHAISIRIRATANAKUL, Woraphan, et al. Modification of polyvinyl chloride ion-selective membrane for nitrate ISFET sensors. *Applied Surface Science*, 2020, vol. 512, p. 145664. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2020.145664>
14. CHEN, Jie; WU, Hao; QIAN, Hui. Groundwater nitrate contamination and associated health risk for the rural communities in an agricultural area of Ningxia, northwest China. *Exposure and Health*, 2016, vol. 8, no 3, p. 349-359. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s12403-016-0208-8>

15. CHEN LEGRAND, D.; BARUS, C.; GARÇON, V. Square wave voltammetry measurements of low concentrations of nitrate using Au/AgNPs electrode in chloride solutions. *Electroanalysis*, 2017, vol. 29, no 12, p. 2882-2887. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/elan.201700447>
16. CHEN, Xiaoyan, et al. Real-time and selective detection of nitrates in water using graphene-based field-effect transistor sensors. *Environmental Science: Nano*, 2018, vol. 5, no 8, p. 1990-1999. Disponible en: <https://doi.org/10.1039/C8EN00588E>
17. COMISSO, Nicola, et al. Study of Cu, Cu-Ni and Rh-modified Cu porous layers as electrode materials for the electroanalysis of nitrate and nitrite ions. *Journal of solid state electrochemistry*, 2016, vol. 20, no 4, p. 1139-1148. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10008-015-2915-7>
18. EROSTATE, M., et al. Groundwater dependent ecosystems in coastal Mediterranean regions: Characterization, challenges and management for their protection. *Water research*, 2020, vol. 172, p. 115461. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.115461>
19. ESSOUSI, Houda, et al. Ion-imprinted electrochemical sensor based on copper nanoparticles-polyaniline matrix for nitrate detection. *Journal of Sensors*, 2019, vol. 2019. Disponible en: <https://doi.org/10.1155/2019/4257125>
20. FAYOSE, Tolulope, et al. Single strip solid contact ion selective electrodes on a pencil-drawn electrode substrate. *Analytical Methods*, 2017, vol. 9, no 7, p. 1213-1220. Disponible en: <https://doi.org/10.1039/C6AY02860H>
21. GARCIA-SEGURA, Sergi, et al. Electrocatalytic reduction of nitrate: Fundamentals to full-scale water treatment applications. *Applied Catalysis B: Environmental*, 2018, vol. 236, p. 546-568. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2018.05.041>
22. GARCÍA-ROBLEDO, Emilio; CORZO, Alfonso; PAPASPYROU, Sokratis. A fast and direct spectrophotometric method for the sequential determination of

nitrate and nitrite at low concentrations in small volumes. *Marine Chemistry*, 2014, vol. 162, p. 30-36. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.marchem.2014.03.002>

23. GHADIRI, Seid Kamal, et al. Adsorption of nitrate onto anionic bio-graphene nanosheet from aqueous solutions: Isotherm and kinetic study. *Journal of Molecular Liquids*, 2017, vol. 242, p. 1111-1117. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2017.06.122>

24. HANSEN, Birgitte, et al. Groundwater nitrate response to sustainable nitrogen management. *Scientific Reports*, 2017, vol. 7, no 1, p. 1-12. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-07147-2>

25. HARNSOONGNOEN, Supakorn, et al. Microwave sensor for nitrate and phosphate concentration sensing. *IEEE Sensors Journal*, 2019, vol. 19, no 8, p. 2950-2955. Disponible en: <https://doi.org/10.1109/JSEN.2018.2890462>

26. HERNANDEZ-VARGAS, Gustavo, et al. Electrochemical biosensors: A solution to pollution detection with reference to environmental contaminants. *Biosensors*, 2018, vol. 8, no 2, p. 29. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/bios8020029>

27. ISAZA, Daniel F. Gomez; CRAMP, Rebecca L.; FRANKLIN, Craig E. Living in polluted waters: A meta-analysis of the effects of nitrate and interactions with other environmental stressors on freshwater taxa. *Environmental Pollution*, 2020, vol. 261, p. 114091. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114091>

28. KARUNANIDHI, D., et al. Potential health risk assessment for fluoride and nitrate contamination in hard rock aquifers of Shanmuganadhi River basin, South India. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 2019, vol. 25, no 1-2, p. 250-270. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/10807039.2019.1568859>

29. KALIMUTHU, Palraj, et al. A sensitive and stable amperometric nitrate biosensor employing *Arabidopsis thaliana* nitrate reductase. *JBIC Journal of*

Biological Inorganic Chemistry, 2015, vol. 20, no 2, p. 385-393. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s00775-014-1171-0>

30. KALIMUTHU, Palraj; KRUSE, Tobias; BERNHARDT, Paul V. A highly sensitive and stable electrochemical nitrate biosensor. *Electrochimica Acta*, 2021, vol. 386, p. 138480. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2021.138480>
31. KAWAGOSHI, Yasunori, et al. Understanding nitrate contamination based on the relationship between changes in groundwater levels and changes in water quality with precipitation fluctuations. *Science of the Total Environment*, 2019, vol. 657, p. 146-153. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.041>
32. Khan, S., & Ali, J. (2018). Chemical analysis of air and water. *Bioassays*, 21–39. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-811861-0.00002-4>
33. KIM, Jungyoon; LIU, Qingyuan; CUI, Tianhong. Graphene-Based Ion Sensitive-FET Sensor With Porous Anodic Aluminum Oxide Substrate for Nitrate Detection. *Journal of Microelectromechanical Systems*, 2020, vol. 29, no 5, p. 966-971. Disponible en: <https://doi.org/10.1109/JMEMS.2020.3008048>
34. KIM, Jungyoon; LIU, Qingyuan; CUI, Tianhong. Solution-gated nitrate sensitive field effect transistor with hybrid film: CVD graphene/polymer selective membrane. *Organic Electronics*, 2020, vol. 78, p. 105551. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.orgel.2019.105551>
35. KOH, Dong-Chan, et al. Relationship of groundwater geochemistry and flow to volcanic stratigraphy in basaltic aquifers affected by magmatic CO₂, Jeju Island, Korea. *Chemical Geology*, 2017, vol. 467, p. 143-158. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2017.08.009>
36. KWON, Eunhye, et al. Nitrate contamination of coastal groundwater: Sources and transport mechanisms along a volcanic aquifer. *Science of The Total Environment*, 2021, vol. 768, p. 145204. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145204>

37. LEBON, Emilie, et al. In situ metalorganic deposition of silver nanoparticles on gold substrate and square wave voltammetry: a highly efficient combination for nanomolar detection of nitrate ions in sea water. *Chemosensors*, 2018, vol. 6, no 4, p. 50. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/chemosensors6040050>
38. LI, Shiyuan, et al. Modifying reduced graphene oxide by conducting polymer through a hydrothermal polymerization method and its application as energy storage electrodes. *Nanoscale Research Letters*, 2019, vol. 14, no 1, p. 1-12. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s11671-019-3051-6>
39. LIANG, Jihong; ZHENG, Yifan; LIU, Zongjian. Nanowire-based Cu electrode as electrochemical sensor for detection of nitrate in water. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 2016, vol. 232, p. 336-344. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.snb.2016.03.145>
40. LIU, Yueling, et al. Thiol-functionalized reduced graphene oxide as self-assembled ion-to-electron transducer for durable solid-contact ion-selective electrodes. *Talanta*, 2020, vol. 208, p. 120374. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2019.120374>
41. LINARES-ESPINÓS, E., et al. Metodología de una revisión sistemática. *Actas Urológicas Españolas*, 2018, vol. 42, no 8, p. 499-506. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.acuroe.2018.07.002>
42. MA, Hua, et al. Effect of nitrate supply on the facilitation between two salt-marsh plants (*Suaeda salsa* and *Scirpus planiculmis*). *Journal of Plant Ecology*, 2020, vol. 13, no 2, p. 204-212. Disponible en: <https://doi.org/10.1093/jpe/rtaa001>
43. MALHOTRA, Bansi Dhar; ALI, Md Azahar. Nanomaterials in biosensors: Fundamentals and applications. *Nanomaterials for biosensors*, 2018, p. 1. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-44923-6.00001-7>
44. MALLYA, Ashwini N.; RAMAMURTHY, Praveen C. Design and fabrication of a highly stable polymer carbon nanotube nanocomposite chemiresistive sensor for nitrate ion detection in water. *ECS Journal of Solid State Science and Technology*, 2018, vol. 7, no 7, p. Q3054. Disponible en: <https://doi.org/10.1149/2.0081807jss>

45. MASSAH, Jafar; VAKILIAN, Keyvan Asefpour. An intelligent portable biosensor for fast and accurate nitrate determination using cyclic voltammetry. *Biosystems Engineering*, 2019, vol. 177, p. 49-58. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2018.09.007>
46. MINAMI, Tsuyoshi, et al. Selective nitrate detection by an enzymatic sensor based on an extended-gate type organic field-effect transistor. *Biosensors and Bioelectronics*, 2016, vol. 81, p. 87-91. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.bios.2016.02.036>
47. MOO, Y. C., et al. New development of optical fibre sensor for determination of nitrate and nitrite in water. *Optik*, 2016, vol. 127, no 3, p. 1312-1319. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2015.09.072>
48. NAKAGAWA, Kei, et al. Spatial trends of nitrate pollution and groundwater chemistry in Shimabara, Nagasaki, Japan. *Environmental Earth Sciences*, 2016, vol. 75, no 3, p. 234. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s12665-015-4971-9>
49. NEUMANN, Barbara; OTT, Konrad; KENCHINGTON, Richard. Strong sustainability in coastal areas: a conceptual interpretation of SDG 14. *Sustainability Science*, 2017, vol. 12, no 6, p. 1019-1035. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11625-017-0472-y>
50. PARVEEN, Shama; PATHAK, Anisha; GUPTA, B. D. Fiber optic SPR nanosensor based on synergistic effects of CNT/Cu-nanoparticles composite for ultratrace sensing of nitrate. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 2017, vol. 246, p. 910-919. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.snb.2017.02.170>
51. PHAM, Thanh Binh, et al. Characteristics of the fiber laser sensor system based on etched-Bragg grating sensing probe for determination of the low nitrate concentration in water. *Sensors*, 2017, vol. 17, no 1, p. 7. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/s17010007>
52. PIĘK, Magdalena; PIECH, Robert; PACZOSA-BATOR, Beata. TTF-TCNQ solid contact layer in all-solid-state ion-selective electrodes for potassium or

nitrate determination. Journal of the Electrochemical Society, 2018, vol. 165, no 2, p. B60. Disponible en: <https://doi.org/10.1149/2.0161803jes>

53. REN, Wen; MURA, Stefania; IRUDAYARAJ, Joseph MK. Modified graphene oxide sensors for ultra-sensitive detection of nitrate ions in water. Talanta, 2016, vol. 143, p. 234-239. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2015.05.073>
54. SAHOO, Prafulla Kumar; KIM, Kangjoo; POWELL, M. A. Managing groundwater nitrate contamination from livestock farms: implication for nitrate management guidelines. Current Pollution Reports, 2016, vol. 2, no 3, p. 178-187. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s40726-016-0033-5>
55. SAMANTA, Palas, et al. Stable carbon and nitrogen isotopic characterization and tracing nutrient sources of Ulva blooms around Jeju coastal areas. Environmental Pollution, 2019, vol. 254, p. 113033. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113033>
56. SCHAIDER, Laurel A., et al. Environmental justice and drinking water quality: are there socioeconomic disparities in nitrate levels in US drinking water?. Environmental Health, 2019, vol. 18, no 1, p. 1-15. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s12940-018-0442-6>
57. SCHROEDER, Aline, et al. Application of glycerol as carbon source for continuous drinking water denitrification using microorganism from natural biomass. Journal of environmental management, 2020, vol. 256, p. 109964. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109964>
58. SCHWARZ, Johannes, et al. Solid-contact ion-selective electrodes based on graphite paste for potentiometric nitrate and ammonium determinations. American Journal of Analytical Chemistry, 2018, vol. 9, no 12, p. 591. Disponible en: <https://doi.org/10.4236/ajac.2018.912043>
59. SERIO, Francesca, et al. Groundwater nitrate contamination and agricultural land use: A grey water footprint perspective in Southern Apulia Region (Italy). Science of the Total Environment, 2018, vol. 645, p. 1425-1431. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.241>

60. SHADFAR, Majid; MOHAMMADALI TEHRANI, Ramin; HOOSHYAR, Fereshteh. Measurement of nitrate concentration in aqueous media using an electrochemical nanosensor based on silver nanoparticles-nanocellulose/graphene oxide. *Journal of Water and Wastewater; Ab va Fazilab (in persian)*, 2017, vol. 28, no 5, p. 1-11. Disponible en: <https://doi.org/10.22093/wwj.2017.45875>
61. SHAO, Yanqiu, et al. Quantitative analysis of different nitrogen isotope labelled nitrates in paddy soil using mid-infrared attenuated total reflectance spectroscopy. *Analytical Methods*, 2017, vol. 9, no 36, p. 5388-5394. Disponible en: <https://doi.org/10.1039/C7AY01507K>
62. SHARMA, M. K.; KUMAR, Mohit. Sulphate contamination in groundwater and its remediation: an overview. *Environmental monitoring and assessment*, 2020, vol. 192, no 2, p. 1-10. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10661-019-8051-6>
63. SHUKLA, Saurabh; SAXENA, Abhishek. Global status of nitrate contamination in groundwater: its occurrence, health impacts, and mitigation measures. *Handbook of environmental materials management*, 2018, p. 869-888. Disponible en: https://doi.org/10.1007/978-3-319-73645-7_20
64. TANG, Hua, et al. Detection of nitrite and nitrate ions in water by graphene oxide as a potential fluorescence sensor. En *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. IOP Publishing, 2016. p. 012027. Disponible en: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/107/1/012027>
65. TENG, YanGuo, et al. Risk assessment framework for nitrate contamination in groundwater for regional management. *Science of the Total Environment*, 2019, vol. 697, p. 134102. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134102>
66. WANG, Li; KIM, Jungyoon; CUI, Tianhong. Self-assembled graphene and copper nanoparticles composite sensor for nitrate determination. *Microsystem Technologies*, 2018, vol. 24, no 9, p. 3623-3630. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s00542-018-3792-7>

67. WANG, Shu, et al. Automated determination of nitrate plus nitrite in aqueous samples with flow injection analysis using vanadium (III) chloride as reductant. *Talanta*, 2016, vol. 146, p. 744-748. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2015.06.031>
68. WARD, Mary H., et al. Drinking water nitrate and human health: an updated review. *International journal of environmental research and public health*, 2018, vol. 15, no 7, p. 1557. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/ijerph15071557>
69. YANG, Yaping; CHEN, Shiyang; NI, Xin-Long. Anion recognition triggered nanoribbon-like self-assembly: A fluorescent chemosensor for nitrate in acidic aqueous solution and living cells. *Analytical chemistry*, 2015, vol. 87, no 14, p. 7461-7466. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/acs.analchem.5b01774>
70. YESHNO, Elad; ARNON, Shlomi; DAHAN, Ofer. Real-time monitoring of nitrate in soils as a key for optimization of agricultural productivity and prevention of groundwater pollution. *Hydrology and Earth System Sciences*, 2019, vol. 23, no 9, p. 3997-4010. Disponible en: <https://doi.org/10.5194/hess-23-3997-2019>
71. ZHAI, Yuanzheng, et al. Groundwater nitrate pollution and human health risk assessment by using HHRA model in an agricultural area, NE China. *Ecotoxicology and environmental safety*, 2017, vol. 137, p. 130-142. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2016.11.010>
72. ZHANG, Songhe, et al. Responses of bacterial community structure and denitrifying bacteria in biofilm to submerged macrophytes and nitrate. *Scientific reports*, 2016, vol. 6, no 1, p. 1-10. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/srep36178>
73. ZHANG, Ya-Nan, et al. Reflective SPR sensor for simultaneous measurement of nitrate concentration and temperature. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 2019, vol. 68, no 11, p. 4566-4574. Disponible en: <https://doi.org/10.1109/TIM.2018.2886950>

74. ZHANG, Zhongbo, et al. Photonic microresonator based sensor for selective nitrate ion detection. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 2021, vol. 328, p. 129027. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.snb.2020.129027>

ANEXOS

ANEXOS N° 1:

	FICHA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO	
DATOS DEL AUTOR: NOMBRE(S)		
PAGINAS UTILIZADAS	AÑO DE PUBLICACIÓN	LUGAR DE PUBLICACIÓN
TIPO DE INVESTIGACIÓN:		
CÓDIGO:		
PALABRAS CLAVES:	Electrical, Electrochemical, Spectroscopic Methods, Nitrate Treatment and Removal, Environment	
MATERIALES USADOS EN LOS MÉTODOS ELÉCTRICOS		
MÉTODOS DE DETECCIÓN DE NITRATO		
TÉCNICA QUE EMPLEAN LOS MÉTODOS ELÉCTRICOS		
RESULTADOS:		
CONCLUSIONES:		

Elaboración propia