



Técnicas espectroscópicas utilizadas para determinar la calidad del agua

Spectroscopic techniques used to determine water quality

Técnicas espectroscópicas usadas para determinar a qualidade da agua

William Xavier Ibáñez-Moreno ^I

William.ibaniez@epoch.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-6488-1121>

Jessica Paola Arcos-Logroño ^{II}

paola.arcos@epoch.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-9462-2219>

Justo Moises Narvaez-Brito ^{III}

justo.narvaez@epoch.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-6844-5549>

Correspondencia: william.ibaniez@epoch.edu.ec

Ciencias de la Ingeniería

Artículo de Revisión

***Recibido:** 10 de agosto de 2021 ***Aceptado:** 30 de agosto de 2021 * **Publicado:** 2 de septiembre de 2021

- I. Master Universitario en Química Industrial e Introducción a la Investigación Química, Ingeniero Químico, Docente de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Sede Morona Santiago, Macas, Ecuador.
- II. Master Universitario en Ciencias Agroambientales y Agroalimentarias, Ingeniera en Biotecnología Ambiental, Docente de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Sede Morona Santiago, Macas, Ecuador.
- III. Investigador Independiente, Estudiante de la carrera de Ingeniería Ambiental, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Sede Morona Santiago, Macas, Ecuador.

Resumen

Se realizó un análisis bibliográfico sobre la determinación de la calidad de agua de fuentes naturales, así como, sobre las técnicas espectrométricas más empleadas para la detección y cuantificación de los parámetros de calidad del agua regulados en la legislación ambiental vigente del Ecuador. Las técnicas con más aplicación en el análisis de la calidad del agua constituyen la espectrometría de masas, la espectroscopia de absorción atómica, la espectroscopia UV-Visible y la espectroscopia de infrarrojo por transformada de Fourier; mismas que han permitido el desarrollo de métodos de análisis confiables para la detección de contaminantes orgánicos a los niveles requeridos por la normativa Ecuatoriana, incluso son capaces de identificar trazas de contaminantes, además, permite el análisis de una amplia gama de contaminantes orgánicos e inorgánicos, incluyendo todos los parámetros de calidad del agua considerados en la normativa legal vigente.

Palabras claves: Calidad del agua; espectroscopia; técnicas analíticas; parámetros de calidad.

Abstract

A bibliographic analysis was carried out about the determination of the quality of water from natural sources, as well as on the most used spectrometric techniques for detection and quantification of water quality parameters regulated in the current environmental Ecuadorian legislation. The techniques most applied for water quality analysis are mass spectrometry, atomic absorption spectroscopy, UV-Visible spectroscopy and Fourier transform infrared spectroscopy. They have allowed develop reliable analysis methods for detection of pollutants at the levels required by Ecuadorian regulations, they are even capable to identifying traces of pollutants, in addition, it allows the analysis of a wide range of organic and inorganic pollutants, including all the parameters considered in the current legal regulation for the determination of water quality

Key words: Water quality; spectroscopy; Analytical techniques; quality standards.

Resumo

Foi realizada uma análise bibliográfica sobre a determinação da qualidade da água de fontes naturais, bem como sobre as técnicas espectrométricas mais utilizadas para a detecção e quantificação dos parâmetros de qualidade da água regulamentados na legislação ambiental

vigente do Equador. As técnicas mais aplicadas na análise da qualidade da água são espectrometria de massas, espectroscopia de absorção atômica, espectroscopia UV-Visível e espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier; Eles permitiram o desenvolvimento de métodos de análise confiáveis para a detecção de poluentes orgânicos nos níveis exigidos pela regulamentação equatoriana, são até capazes de identificar vestígios de poluentes, além de permitir a análise de uma ampla gama de poluentes orgânicos e inorgânicos. , incluindo todos os parâmetros de qualidade da água considerados na regulamentação legal em vigor.

Palavras-chave: Qualidade da água; espectroscopia; técnicas analíticas; parâmetros de qualidade.

Introducción

En las últimas décadas, la preocupación sobre la conservación y protección de los recursos naturales, ha venido creciendo, especialmente para un recurso imprescindible como es el agua, Por tanto, el desarrollo de equipos, tecnología y metodologías para la detección rápida de contaminantes en el agua se ha convertido en una preocupación de la comunidad científica. Los contaminantes pueden estar presentes tanto en sistemas de aguas naturales superficiales y subterráneas, así como en aguas tratadas; en concentraciones tan altas que alteran las características físicas del agua o en concentraciones tan bajas que son imperceptibles. Las técnicas espectroscópicas se fundamentan en la interacción que existe entre la materia y la radiación electromagnética, cuando la concentración del analito es baja, siendo capaces incluso de llegar a contar los átomos de determinada sustancia presente en una muestra, por lo que han permitido el desarrollo de métodos de análisis que permiten una confiable caracterización de los sistemas de aguas naturales, siendo posible la detección de trazas de contaminantes presentes en el cuerpo hídrico.

El presente estudio busca identificar las técnicas espectrométricas con mayor aplicación en las ciencias ambientales, especialmente en la caracterización de aguas naturales, con el fin de conocer el “estado de salud” de un sistema de agua mediante el análisis de estudios realizados sobre la calidad de agua y la aplicación de las técnicas, a nivel local, nacional e internacional.

Metodología

La metodología aplicada en el presente trabajo de revisión bibliográfica, está constituida por las etapas que se describen a continuación:

Definición del problema

Como tema se definió “Técnicas espectroscópicas utilizadas para determinar la calidad del agua”

Búsqueda de la información

Una vez definido el problema a investigar, se consultaron diferentes fuentes de información, entre normas, reportes técnicos, patentes, revistas especializadas, memorias de conferencias y simposios y tesis doctorales; empleando términos claves como “water quality”, “spectroscopy”, “pollutants detection”, “spectroscopy UV”, “spectroscopy visible”, “mass spectroscopy” e “infrared spectroscopy”, combinándose en ecuaciones de búsqueda que generaron diferentes resultados.

Organización de la información

Para la organización la información se realizaron agrupaciones en función de temáticas, utilizando por el software Mendeley para realizar la gestión de la bibliografía.

Análisis de la información

Se analizaron un total de 49 documentos entre los que figuran libros, normas, reportes técnicos, patentes, revistas especializadas, memorias de conferencias y simposios y tesis doctorales, se analizaron los aspectos más importantes y las ideas más relevantes al tema propuesto en el presente estudio.

Índice de calidad del agua

En la actualidad existen diversas estrategias para evaluar la calidad del agua, que van desde valores independientes de parámetros de calidad del agua, hasta expresiones que engloban una serie de parámetros en función del interés que se tenga. Dichas expresiones permiten reducir el número de dimensiones de los análisis de calidad del agua, en un valor único que nos permite conocer el “estado de salud” del sistema monitoreado, éste es el caso de los índices de calidad del agua (ICA). (Quiroz et al., 2017). Se pueden contabilizar más de 30 índices de calidad del agua, conformados entre 3 y 72 variables. Entre los parámetros más utilizados se encuentra: el Oxígeno Disuelto (OD), la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Nitrógeno Amoniacal ($N-NH_4^+$), nitrógeno en forma de nitrato ($N-NO_3^-$), Fosfato en forma de Ortofosfato ($P-PO_4^{3-}$), potencial hidrógeno (pH) y Sólidos

Disueltos Totales (TDS). Así mismo, entre los ICA más utilizados se encuentra el Water Quality Index (QWI) y el desarrollado por la National Sanitation Foundation (ICA-NSF).

En el Ecuador, los principios básicos y enfoque general para el control de la contaminación del agua se estable en el Acuerdo Ministerial 097-A, el mismo que no contempla ninguna metodología en particular para la determinación del ICA, sin embargo, si se detallan los parámetros de calidad que deben ser considerados en función del tipo de aplicación que se le dé a éste recurso. Por lo que se consideró para la presente revisión bibliográfica los parámetros de calidad indicados en la actual normativa (Registro Oficial No. 387, 2015). Para el presente estudio se toman los criterios de calidad admisibles para la vida en cuerpos de agua salados, dado que el presente estudio se centra en el análisis de los criterios de calidad del agua en ríos.

Tabla 1: Criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces.

Parámetro	Expresado como	Unidad	Criterio de calidad – agua dulce
Aluminio	Al	mg/L	0.1
Amoniaco total	NH3	mg/L	-
Arsénico	As	mg/L	0.05
Bario	Ba	mg/L	1.0
Berilio	Be	mg/L	0.1
Bifenilos policlorados	PCBs totales	ug/L	1.0
Boro	B	mg/L	0.75
Cadmio	Cd	mg/L	0.001
Cianuros	CN-	mg/L	0.01
Cinc	Zn	mg/L	0.03
Cloro residual total	Cl2	mg/L	0.01
Clorofenoles		mg/L	0.05
Cobalto	Co	mg/L	0.2
Cobre	Cu	mg/L	0.005
Cromo total	Cr	mg/L	0.032
Estaño	Sn	mg/L	
Fenoles monohídricos	fenoles	mg/L	0.001
Aceites y grasas	Sustancias solubles en estaño	mg/L	0.3
Hidrocarburos totales de petróleo	TPH	mg/L	0.5
Hierro	Fe	mg/L	0.3
Manganeso	Mn	mg/L	0.1
Materia flotante de origen antrópico	visible		Ausencia
Mercurio	Hg	mg/L	0.0002
Níquel	Ni	mg/L	0.025

Oxígeno disuelto	OD	% de saturación	>80
Piretroides	Concentración de piretroides totales	mg/L	0.05
Plaguicidas organoclorados totales	Organoclorados totales	ug/L	10.0
Plaguicidas organofosfatados totales	Organofosfatados totales	ug/L	10.0
Plata	Ag	mg/L	0.01
Plomo	Pb	mg/L	0.001
Potencial hidrógeno	pH	Unidades de pH	6.5-9
Selenio	Se	mg/L	0.001
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/L	0.5
Nitritos	NO ₂ -	mg/L	0.2
Nitratos	NO ₃ -	mg/L	13
DQO	DQO	mg/L	40
DBO ₅	DBO ₅	mg/L	20
Sólidos suspendidos totales	SST	mg/L	Max incremento de 10% de la condición natural

Fuente: Registro Oficial No. 387 (2015). Acuerdo ministerial 097-A.

Espectrofotometría

La espectrofotometría se define como un conjunto de técnicas que permiten medir las concentraciones químicas a través de la medición de la absorción o emisión de radiación electromagnética. (Harris, 2012) La espectrofotometría conjuga un conjunto de técnicas que permiten realizar la caracterización cualitativa y cuantitativa de una muestra, incluso son capaces de proporcionar información sobre la estereoquímica molecular en el caso de los compuestos orgánicos y la identificación de isótopos en el caso de los átomos. Son técnicas, tan sensibles que permiten la identificación de trazas de componentes como el caso de los contaminantes ambientales.

Espectroscopia UV – Visible

La espectroscopia UV-Visible se fundamenta en el hecho de que muchos constituyentes del agua, tal es el caso de los contaminantes, tienen la capacidad de absorber luz en un rango específico de longitud de onda. Los fotones de luz, a una específica longitud de onda, son absorbidos por los electrones que se encuentran en estado estacionario para pasar a un estado excitado, lo que hace

que disminuya la cantidad de luz que llega al detector. Generalmente, en esta técnica se mide la cantidad de luz transmitida, es decir la transmitancia. (Guo et al., 2020)

La espectroscopia UV-Visible se fundamenta en la ley de Lambert-Beer, misma que manifiesta que la cantidad de luz absorbida por una sustancia es directamente proporcional a la concentración, en soluciones diluidas. La exactitud de los métodos utilizados depende del modelo matemático utilizado, el análisis de los datos espectroscópicos se divide en cuatro etapas: procesamiento de la información del espectro, selección de la longitud de onda, parámetros de calidad del agua y la evaluación del modelo matemático seleccionado. (Ghasemi & Kaykhaii, 2017)

Los contaminantes presentes en el agua absorben la radiación a diferentes longitudes de onda, así, los contaminantes más comunes como nitratos y nitros se los detecta longitudes de onda entre 200 – 220 nm, la materia orgánica entre 250 – 380 nm, la turbidez se evalúa entre 380 y 750nm, los metales tienen una amplia gama de longitudes de onda en función del método seleccionado. El presente estudio considera los parámetros indicados en la normativa ambiental vigente del Ecuador, criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces (véase tabla 1). De los 38 parámetros analizados 15 pueden ser analizados a través de ésta técnica, entre los que tenemos: aluminio, amoníaco, cianuros, cinc, cloro residual, cobre, cromo, fenoles monohídricos, hierro, manganeso, plomo, selenio, nitritos, nitratos y DQO. (Lopez-Gonzalez et al., 2010)

En la actualidad, los metales pesados se los puede determinar a través de técnicas colorimétricas, dado que la intensidad color puede representar con cierta exactitud la concentración de un metal en el agua. Para esta técnica se debe inducir una reacción química entre el metal y un complejo que generen sustancias coloreadas, la intensidad del color se compara con soluciones estándar o a través de un espectroscopio UV-Visible se procede con la medición de la concentración. La aplicación de este método está sujeto a la posible presencia de interferentes, en caso de presentarse algún interferente se debe eliminar en las etapas de preparación de la muestra y en caso que no sea posible su eliminación se deberá seleccionar otra técnica de análisis (Mutembei et al., 2014)

Espectroscopia de IR

La espectroscopia de infrarrojo se fundamenta en la capacidad que tienen las moléculas de los contaminantes para absorber radiación a determinada longitud de onda, debido a la vibración que

presentan los enlaces moleculares. La absorción de la radiación se produce únicamente cuando las vibraciones moleculares generan un campo magnético y éste coincide con la frecuencia del campo magnético aplicado. Entre los tipos de vibraciones más comunes tenemos a) vibraciones de tensión (simétrica y asimétrica), y b) vibraciones de flexión (balanceo, tijereteo, aleteo y torsión). (Khab et al., 2018)

La espectroscopia infrarroja permite la identificación de compuestos orgánicos a través de sus grupos funcionales, dado que las diferentes vibraciones que presenta una molécula crea un patrón característico del grupo funcional y un patrón único para cada especie química. Así, esta técnica es ampliamente utilizada para la identificación y clasificación de aceites y grasas de forma precisa en diferentes disciplinas, el análisis de grasas y aceites se puede realizar a través de la espectroscopia FT-IR, obteniéndose espectros en el rango de 450 – 4000 cm^{-1} . (Javidnia et al., 2013). En las ciencias ambientales es posible la identificación de contaminantes orgánicos en el agua, tal es el caso de las grasas y aceites, empleando los mismos principios.

Espectroscopia de absorción atómica

La espectroscopia atómica, al igual que la espectroscopia UV- Visible, se fundamenta en la ley de Lamber-Beer, diferenciándose principalmente por la resolución de ésta técnica. En la aplicación de ésta técnica las muestras se vaporizan a 2000 – 6000 K, y la concentración de átomos en fase vapor se determina midiendo la absorción de la luz a una longitud de onda característica. Dada su alta sensibilidad y resolución, es capaz de distinguir los diferentes elementos que conforman una muestra compleja y realizar análisis multielemental simultáneo, lo que permite analizar automáticamente varias muestras. (Harris, 2012)

Una de las etapas determinantes corresponde a la atomización, misma que puede realizarse con la aplicación de llama, horno o plasma. La sensibilidad analítica y el grado de interferencia depende de cómo se hace la atomización, en los últimos años las llamas han sido reemplazadas por plasma acoplado por inducción y hornos de grafito. Las fuentes de radiación más comúnmente utilizadas son las lámparas de cátodo hueco que contengan el vapor del mismo elemento que se desea analizar, dichas lámparas tienen la capacidad de producir rayas estrechas de frecuencia del orden de 10^{-3} a 10^{-2} nm (Perkin Elmer Cooperation, 1996)

A través de la espectroscopia atómica, habitualmente se pueden medir concentraciones de partes por millón, pero se puede llegar a determinar partes por trillón, por lo que usualmente se trabaja con muestras diluidas. En los sistemas de agua natural, es posible llegar a determinar trazas de contaminantes. En el análisis de la calidad del agua, a través de la espectroscopia atómica, usualmente se determinan trazas de metales, 7 de los 38 parámetros considerados en el presente estudio son analizados a través de ésta técnica, entre los que tenemos: tensoactivos, plata, estaño, cobalto, cadmio, berilio y bario. (Benneth, P.A. and Rothery, n.d.)

Espectrometría de masas

La espectrometría de masas ha constituido una herramienta para determinar isótopos y descifrar estructuras orgánicas, ampliamente utilizada en las ciencias ambientales debido a la gran información medioambiental que se puede conseguir a través de la medida de los isótopos. La espectrometría de masas es actualmente el detector más potente en cromatografía, dada la alta sensibilidad de la técnica, siendo capaz de detectar bajas concentraciones de analito, suministra información cualitativa y cuantitativa sobre los compuestos que eluyen de una columna cromatográfica; siendo capaz de distinguir entre compuestos que tienen el mismo tiempo de retención. (Harris, 2012)

La espectrometría de masas es una técnica para estudiar las masas de átomos, moléculas y fragmentos de moléculas, para las moléculas o especies absorbidas se ionizan, los iones se aceleran en un campo magnético y se separan según se relación masa/carga. El espectro se obtiene modificando sucesivamente la fuerza del campo magnético. Las moléculas gaseosas se ionizan por la acción de un campo eléctrico, con la aplicación de 70eV es mucho mayor que la energía de ionización, por lo que se producen fragmentos de moléculas que aparecen en picos diferentes en el espectro, si se disminuye la energía del campo eléctrico se disminuye también el grado de ionización y fragmentación y se observará una mayor abundancia de iones moleculares, sin embargo, se mantienen los 70eV porque proporcionan pautas de fragmentación reproducibles, que pueden ser comparados con espectros obtenidos en estudios previos. (Burlingame et al., 1984)

Los contaminantes orgánicos presentes en aguas naturales pueden ser determinados a través de la aplicación de ésta técnica, dada la alta sensibilidad de la técnica permite identificar cualitativa y cuantitativamente trazas de moléculas orgánicas y compuestos inorgánicos. De los 38 parámetros

considerados en este estudio 9 se los analiza a través de ésta técnica, ente los que tenemos: bifenilos policlorados, boro, clorofenoles, hidrocarburos totales de petróleo, mercurio, níquel, piretroides, paguicidas organoclorados y plaguicidas organofosfatados. (Baird et al., 2017)

DISCUSIÓN

Para la espectroscopia UV-Visible, la aplicación de la espectroscopia de absorción de luz visible e infrarroja en el análisis de los parámetros de calidad del agua, se ha venido utilizando desde hace varias décadas, lo que ha permitido el desarrollo de técnicas analíticas para la aplicación de campo, como la colorimetría, en la actualidad existen una gama de productos que van desde kits de análisis cualitativo hasta espectroscopios de campo (colorímetros) que permiten determinar la concentración de las sustancias presentes en el agua. Tal es el caso de grandes marcas que han desarrollado un catálogo completo de productos que a través de la aplicación de los fundamentos de la espectroscopia UV-Visible son capaces de medir una gran gama de sustancias que van desde metales, aniones inorgánicos, moléculas y radicales orgánicos. En los catálogos de proveedores de productos y servicios se pueden encontrar una serie de técnicas, instrumentos, materiales y reactivos para la determinación de aluminio, amoniaco, cianuros, cinc, cloro residual, cobre, cromo, fenoles monohídricos, hierro, manganeso, plomo, selenio, nitritos, nitratos y DQO en sistemas de aguas naturales (HACH COMPANY, 2000; HANNA INSTRUMENTS, 2006, 2021). Deloya Martínez describe en su trabajo publicado en 2006 el procedimiento para la determinación colorimétrica de la DQO, empleando una muestra patrón para su cuantificación, obteniéndose resultados validados con el método tradicional de titulación con FAS (Deloya Martínez, 2006). Así también, en el trabajo realizado por Yoshimura, Waki y Ohashi describe la determinación colorimétrica de metales como hierro en presencia de 1,10-fenantrolina generando un compuesto coloreado que absorbe a 514 nm con una precisión, el cobre con tratamiento de Zicon a 630 nm y cobalto en presencia de tiocianato a 630 nm, en muestras de agua natural con un error entre el 5 – 10%. (Yoshimura et al., 1975)

En el trabajo propuesto por Fernández Gordón se realiza la validación del método de análisis para la determinación de grasas y aceites en agua cruda y agua residual a través de la aplicación de la espectroscopia infrarroja de transformada de Fourier, en el mismo se valida un método que permite la cuantificación desde 0.8 hasta 250 mg/L cumpliendo con los criterios de incertidumbre establecidos menor al 35% y con un porcentaje de recuperación entre el 80 y el 120%; y con

coeficientes de variación de repetitividad y reproducibilidad menores al 15%, lo que permite tener datos confiables. (Fernández & Alvarado, 2013)

En el caso de la espectroscopía de absorción atómica, ha sido ampliamente utilizada en el análisis de metales en agua, especialmente metales pesados, tal es el caso del trabajo descrito por Khan et al., en el cual se determina la concentración de plomo, arsénico, aluminio y antimonio a través de ésta técnica, en aguas destinadas al consumo humano. (Tareen et al., 2014) Así mismo, en el trabajo realizado por Sharma y Tyagi se analizan metales como arsénico, aluminio, boro, cadmio, cromo, cobre, hierro, plomo, mercurio, manganeso, níquel, selenio y zinc; en aguas superficiales y subterráneas. (B. Sharma & Tyagi, 2013) Cabe destacar que ya desde la década de los 70s se empleaba ésta técnica para determinar la presencia y cuantificar la concentración de metales en diferentes matrices, especialmente agua y suelos. (Isaac & Kerber, 1971)

El espectrómetro de masas es uno de los detectores más utilizados en la cromatografía, debido su capacidad de identificar con alto grado de precisión, dada su alta resolución, una gran gama de compuestos orgánicos incluso en bajas concentraciones, convirtiendo la espectrometría de masas una técnica poderosa para la detección de contaminantes orgánicos en aguas crudas y residuales. En los últimos años se han realizado trabajos que aplican ésta técnica en la determinación de contaminantes emergentes, tal es el caso del trabajo realizado por Peña y Castillo en el cual alertaron la presencia de ibuprofeno, naprofeno, clorofeno, triclosán y bisfenol A (Peña & Castillo, 2015); así mismo, se han desarrollado métodos de detección para una serie de fármacos como atracina, diazepam, naproxen, entre otros, presentes en aguas con límites de detección entre 0.25 – 1.00 ng/L. (Vanderford & Snyder, 2006)

CONCLUSIONES

Entre las técnicas de espectroscopía UV-Visible, la colorimetría, constituye una de las técnicas con mayor aplicación, dado a la gran gama de equipos e instrumentos que se han desarrollado para la detección de contaminantes en las fuentes de agua, que van desde metales, aniones, radicales y moléculas de origen orgánico e inorgánico; en la actualidad muchas industrias aplican estas técnicas para la caracterización de aguas ya sean éstas crudas, residuales o tratadas.

La espectroscopia infrarroja se utiliza ampliamente para medir contaminantes orgánicos en el suelo y el agua, como en el caso del THP y las grasas y aceites. Sin embargo, en los últimos años, debido a su alta resolución, ha sido sustituida por tecnologías como la espectrometría de masas.

La Espectroscopía de absorción atómica al igual que en la espectroscopía UV-Visible, se han desarrollado muchos métodos de análisis en absorción atómica para la detección y cuantificación de contaminantes metálicos en agua, constituyendo una de las herramientas más empleadas en el análisis de la calidad del agua. La ventaja que presenta esta técnica es su alta resolución, que ha permitido identificar incluso trazas de contaminantes, sin embargo, cuando se desea un mayor grado de sensibilidad se puede recurrir a técnicas como la fluorescencia atómica.

Espectrometría de masas, es una de las más empleadas en los últimos años para la detección y cuantificación de contaminantes orgánicos, especialmente aquellos considerados emergentes que usualmente se encuentran en muy bajas concentraciones, debido a su alta resolución. Es una técnica que tiene muchas aplicaciones en las ciencias ambientales, debido a su capacidad de diferenciar entre los diferentes isótopos atómicos.

Referencias

1. Baird, R., Eaton, A. D., Rice, E. W., & Bridgewater, L. (2017). *Standard Methods for the Examinations of Water and Wastewater* (R. Baird, A. Eaton, & E. Rice (eds.); 23rd ed.). American Public Health Association; American Water Works Association; Water Environment Federation. <https://doi.org/10.2105/SMWW.2882.216>
2. Benneth, P.A. and Rothery, E. (n.d.). *Atomic Absorption Analysis*. Varian, January 1997, 1–40.
3. Burlingame, A. L., Whitney, J. O., & Russell, D. H. (1984). *Mass Spectrometry*. In *Analytical Chemistry* (Vol. 56, Issue 5). <https://doi.org/10.1021/ac00269a027>
4. Deloya Martínez, A. (2006). *Métodos de análisis físicos y espectrofométricos para el análisis de aguas residuales*. *Tecnología En Marcha*, 19(2), 31–40.
5. Fernández, G., & Alvarado, C. (2013). *Validación de los métodos de ensayo para BDO en aguas residuales, THP, Aceites y Grasas en AGuas Residuales y Suelos*.
6. Ghasemi, E., & Kaykhaii, M. (2017). *Determination of zinc, copper, and mercury in water samples by using novel micro cloud point extraction and UV-Vis spectrophotometry*. *Eurasian Journal of Analytical Chemistry*, 12(4), 313–324. <https://doi.org/10.12973/ejac.2017.00172a>
7. Guo, Y., Liu, C., Ye, R., & Duan, Q. (2020). *Advances on water quality detection by uv-vis spectroscopy*. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(19), 1–18. <https://doi.org/10.3390/app10196874>
8. HACH COMPANY. (2000). *Manual de analisis de agua: Procedimientos Fotometricos, de titulacion y microbiologicos de HACH Company*. *Cell*, 3(970), 220. <https://www.hach.com/asset-get.download.jsa?id=7639984469>
9. HANNA INSTRUMENTS. (2006). *El ciclo integral del agua*.
10. HANNA INSTRUMENTS. (2021). *Intrumentación para Laboratorio*.
11. Harris, D. C. (2012). *ANALISIS QUIMICO CUANTITATIVO / Daniel C. Harris. (Reverté (ed.); 3rd ed.)*. https://www.academia.edu/40610014/Análisis_químico_cuantitativo_3a_ed_nodrm

12. Isaac, R. A., & Kerber, J. D. (1971). *Atomic Absorption and Flame Photometry: Techniques and Uses in Soil, Plant, and Water Analysis*.
13. Javidnia, K., Parish, M., Karimi, S., & Hemmateenejad, B. (2013). Discrimination of edible oils and fats by combination of multivariate pattern recognition and FT-IR spectroscopy: A comparative study between different modeling methods. *Spectrochimica Acta - Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 104, 175–181. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2012.11.067>
14. Khab, S., Khan, S., Khan, L., Farooq, A., Akhta, K., & Asiri, A. (2018). Fourier Transform Infrared Spectroscopy: Fundamental and Application in Functional Groups and Nanomaterials Characterization. In S. Nature (Ed.), *Handbook of Materials Characterization* (1st ed., pp. 1–613). <https://doi.org/10.1007/978-3-319-92955-2>
15. Lopez-Gonzalez, H., Peralta-Videa, J. R., Romero-Guzman, E. T., Rojas-Hernandez, A., & Gardea-Torresdey, J. L. (2010). Determination of the hydrolysis constants and solubility product of chromium(III) from reduction of dichromate solutions by ICP-OES and UV-visible spectroscopy. *Journal of Solution Chemistry*, 39(4), 522–532. <https://doi.org/10.1007/s10953-010-9522-0>
16. Mutembei, J., Salim, A., Onditi, O., Waudu, W., & Yusuf, A. (2014). Determination of Heavy Metals and Nutrients in Rivers Naka and Irigu, Chuka, (Kenya) Using Atomic Absorption Spectrometry and UV/Visible Spectrophotometry. *IOSR Journal of Applied Chemistry*, 7(11), 82–88. <https://doi.org/10.9790/5736-071118288>
17. Peña, A., & Castillo, A. (2015). Identificación y cuantificación de contaminantes en fase sólida - cromatografía de gases - espectrometría de masas emergentes en aguas residuales por microextracción. *TIP Revista Especializada En Ciencias Químico-Biológicas*, 18(1), 29–42.
18. Perkin Elmer Corporation. (1996). *Analytical Methods for Atomic Absorption Spectroscopy*. Analytical Methods, 216.
19. Quiroz, L., Izquierdo, E., & Menéndez, C. (2017). Aplicación del índice de calidad de agua en el río Portoviejo, Ecuador. *Revista de Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 38(3), 41-51 p.

20. Registro Oficial No. 387. (2015). Norma De Calidad Ambiental Y De Descarga De Efluentes. Registro Oficial No. 387, 097, 407. <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu155128.pdf>
21. Sharma, B., & Tyagi, S. (2013). Simplification of Metal Ion Analysis in Fresh Water Samples by Atomic Absorption Spectroscopy for Laboratory Students. *Journal Of Laboratory Chemical Education*, 1(3), 54–58. <https://doi.org/10.5923/j.jlce.20130103.04>
22. Tareen, A. K., Afrasiab, I., Parakulsuksatid, P., & Khan, A. (2014). Original Research Article Detection of heavy metals (Pb , Sb , Al , As) through atomic absorption spectroscopy from drinking water of District Pishin , Original Research Article Detection of heavy metals (Pb , Sb , Al , As) through atomic absorption s. *International Journal of Current Microbiology and Appied Sciences*, January 2015.
23. Vanderford, B., & Snyder, S. (2006). Analysis of Pharmaceuticals in Water by Isotope Dilution Liquid Chromatography / Tandem Mass. *Environmental Science and Technology*, 40(23), 7312–7320.
24. Yoshimura, K., Waki, H., & Ohashi, S. (1975). Ion-Exchange Colorimetry - I. Mrico determination of chromium, iron and cobalt in water. *Talanta*, 23, 0–5.

© 2021 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>)