

Fomentando el Análisis Químico *in situ* en un Centro de Cultura y Conservación

Fostering in situ chemical analysis at a center for culture and conservation

Adriana Leticia Meléndez López¹, Jorge Armando Cruz Castañeda², Alicia Negrón Mendoza², Sergio Ramos Bernal² y Alejandro Heredia Barbero²

Resumen

La asignatura de química acuática (QA) impartida en la Escuela Nacional de Ciencias de la Tierra (ENCiT) de la UNAM tiene como objetivo explorar los aspectos fundamentales del agua, sus propiedades y métodos para estudiar diversos ecosistemas acuáticos. Este estudio presenta los resultados del análisis químico *in situ* realizado en el Parque Nacional Grutas de Cacahuamilpa, Taxco, Guerrero, considerado un centro de cultura y conservación. La experiencia de estudiantes de cuarto semestre de la Licenciatura en Ciencias de la Tierra del semestre 2023-2, subraya la importancia del análisis *in situ* para evaluar el impacto negativo de la falta de conciencia ambiental. Desde una perspectiva académica, se enfatiza la necesidad de que el estudiantado adquiera la habilidad en la medición precisa de especies químicas en sistemas acuáticos, con el objetivo de comprender su estado actual y proponer soluciones viables.

Palabras clave: química ambiental; enseñanza universitaria; interdisciplinariedad; Ciencias de la Tierra; contaminación ambiental; análisis químico *in situ*.

Abstract

The Aquatic Chemistry (QA) course offered at the National School of Earth Sciences (ENCiT) of UNAM aims to explore the fundamental aspects of water, its properties, and methods for studying various aquatic ecosystems. This study presents the results of *in situ* chemical analysis conducted at the Grutas de Cacahuamilpa National Park, Taxco, Guerrero, considered a center for culture and conservation. The experience of fourth-semester students from the 2023-2 Earth Sciences Bachelor's program highlights the importance of *in situ* analysis in assessing the negative impact of environmental awareness deficiency. From an academic perspective, the need for students to develop the skill of accurately measuring chemical species in aquatic systems is emphasized, with the goal of understanding their current state and proposing viable solutions.

Keywords: environmental chemistry; university education; interdisciplinarity; Earth Sciences; environmental pollution; *in situ* chemical analysis.

CÓMO CITAR:

Meléndez López, A. L., Cruz Castañeda, J. A., Negrón Mendoza, A., Ramos Bernal, S., y Heredia Barbero, A. (2024). Fomentando el análisis químico *in situ* en un centro de cultura y conservación. *Educación Química*, 35(4). <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2024.4.87918>

¹ Escuela Nacional de Ciencias de la Tierra, UNAM.

² Instituto de Ciencias Nucleares, UNAM.

Introducción

Situado en los municipios de Pilcaya y Taxco de Alarcón, Guerrero, el Parque Nacional Grutas de Cacahuamilpa destaca por su sistema de cuevas y formaciones calcáreas que lo convierten en un atractivo turístico que, a su vez, puede provocar un impacto ambiental negativo de la zona. Una parte de la cuenca alta del Río Amacuzac, dentro del parque, sirvió como escenario para desarrollar metodologías experimentales a estudiantes de la Licenciatura en Ciencias de la Tierra de la ENCiT.

El análisis químico, parte integral del temario de QA, permite determinar la composición química de las aguas naturales. Las aguas naturales expuestas a rocas calizas, como es el caso de las Grutas de Cacahuamilpa, se denominan aguas calcáreas cuyo contenido de las especies químicas carbonatos (CO_3^{2-}), bicarbonatos (HCO_3^-) y del sistema $\text{HCO}_3^-/\text{CO}_3^{2-}$, es notable. Esas características facilitan su medición a través de una microtitulación ácido-base (Baeza, 2003), utilizando fenolftaleína como indicador. Así, la alcalinidad total de una muestra de agua es el número de moles de protones (H^+) necesarios para titular un litro de dicha muestra. El valor de pH de un cuerpo de agua puede ser una medida de la capacidad que tiene para albergar a plantas y algas (Karp, 2009). En este sentido, el agua dura es aquella que contiene una alta concentración de magnesio y calcio. Determinar la dureza del agua nos proporciona una medida de la calidad del agua para uso doméstico, industrial y agrícola (Harris, 2007). Una de las técnicas volumétricas empleadas para determinar el valor de la dureza es una microtitulación complejométrica, utilizando una disolución de ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) como titulante y otra de purpurato de amonio como indicador.

Las aguas naturales deben contener cierta cantidad de nutrientes, los cuales son esenciales para el desarrollo de la vida acuática. Sin embargo, modificar las concentraciones naturales en estos sistemas puede tener impactos negativos en ellos. El nitrógeno es uno de los nutrientes necesarios para la vida en los sistemas acuáticos. Por ende, debe estar en concentraciones adecuadas, ya que, de no hacerlo, alteraría su ciclo biogeoquímico. Esto, a su vez, afectaría a los demás elementos con relevancia biogeoquímica, tales como el fósforo, el carbono, el oxígeno, etc. (Bashkin y Howarth, 2003). La Organización Mundial de la Salud (OMS) señala que la concentración máxima de nitratos (NO_3^-) en el agua de consumo debe ser de 50 mg L^{-1} y la de nitritos (NO_2^-) de 0.5 mg L^{-1} (Vitoria et al., 2015). Las principales fuentes de contaminación de estas especies químicas son los basureros, los fertilizantes, el estiércol, y en general, cualquier material vegetal en descomposición. El nitrato, considerado un indicador temprano de contaminación, se transporta fácilmente a las aguas subterráneas y aguas superficiales debido a su alta solubilidad.

En la zona de estudio, el estudiantado tuvo la capacidad de llevar a cabo las siguientes tareas enumeradas: (1) realizar el registro fisicoquímico del sistema, incluyendo temperatura, pH, densidad y conductividad eléctrica de muestras de agua de diferentes puntos cercanos al río; (2) determinar la acidez y la dureza de agua mediante análisis volumétrico a microescala; (3) medir la concentración de nitritos y nitratos a través de análisis colorimétrico. Es fundamental destacar que todas estas técnicas analíticas de campo fueron previamente estudiadas y validadas por el estudiantado en el laboratorio, lo cual facilitó el trabajo de campo (Véase Figura 1).

FIGURA 1. Izquierda, estudiantes de QA 2023-2. Derecha, estudiantes ensayando la técnica de microtitulación complejométrica en el SUM 201 de la ENCIT.



El objetivo de las mediciones realizadas en campo es enfatizar la importancia del aprendizaje del estudiantado en la realización del análisis químico *in situ*, así como el registro y análisis de los resultados de las pruebas como un indicativo de la calidad del agua.

Desarrollo

Se llevó a cabo la prueba de análisis de agua en campo en diversas ubicaciones cercanas a “Dos Bocas” con la participación de cuatro equipos de alumnos. Cada equipo utilizó un kit que incluía los siguientes elementos: una balanza portátil, un termómetro, un densímetro, una espátula, acrodiscos de $0.45 \mu\text{m}$, tiras indicadoras de pH, pipetas de transferencia, piseta con agua desionizada MilliQ, tubos estériles de diferente volumen para recolectar muestras de agua y sedimentos, jeringas de insulina, disoluciones de hidróxido de sodio 0.01 y 1 mol L^{-1} , disolución de purpurato de amonio, disolución de EDTA 0.01 mol L^{-1} , guantes de látex y un radio utilizado como medio de comunicación. Además, trabajaron en grupo con un kit que contenía un potenciómetro con un electrodo de pH y conductímetro, un LabPro Vernier, y un Pocker Colorimeter de la marca HACH® (véase Figura 2).

FIGURA 2. Materiales e instrumentos de medición utilizados.



Con las muestras recolectadas y utilizando las mismas técnicas, en el laboratorio se repitieron los experimentos de los puntos 2 y 3, es decir, el análisis volumétrico y la colorimetría para la determinación de la concentración de nitritos y nitratos.

En la Tabla 1 se muestran los resultados del registro de las propiedades fisicoquímicas de los sistemas en estudio.

	Equipo 1	Equipo 2	Equipo 3	Equipo 4
Coordenadas geográficas	18°40'02.7"N 99°30'36.4"W	18°40'02.4"N 99°30'33.9"W	18°40'01.4"N 99°30'30.6"W	18°40'2"N, 99°30'34"W
Temperatura (°C)	21	23	25	25
pH	8.29	8.40	8.20	8.20
Densidad (g mL⁻¹)	0.997	0.997	0.997	0.997
Conductividad eléctrica (μS cm⁻¹)	748	643	520	470

TABLA 1. Registro fisicoquímico.

En la Tabla 2 se muestran los resultados del análisis volumétrico ácido-base y complejométrico.

	Equipo 1		Equipo 2		Equipo 3		Equipo 4	
	C	L	C	L	C	L	C	L
Concentración especies alcalinas (mg/L)	240	240	280	280	200	200	200	200
Dureza (mg/L)	250	250	300	300	250	250	250	250

TABLA 2. Análisis volumétrico.

*C: medición en el campo *L: medición en el laboratorio

En la Tabla 3 se muestran los resultados de la concentración de nitritos y nitratos.

	Equipo 1		Equipo 2		Equipo 3		Equipo 4	
	C	L	C	L	C	L	C	L
Nitritos (mg L⁻¹)	0.025	0.025	0.10	0.10	0.04	0.04	0.04	0.04
Nitratos (mg L⁻¹)	1.7	1.7	8.0	8.0	7.8	7.8	6.4	6.4

TABLA 3. Nitritos y nitratos.

*C: medición en el campo *L: medición en el laboratorio

Los resultados en la Tabla 3 indican que los valores encontrados no sobrepasan las concentraciones recomendadas por la OMS. Sin embargo, un detalle destacado en la experiencia de campo fue la disparidad en los resultados del equipo 2 (véase Tabla 2 y 3). Después de realizar un registro exhaustivo en la zona de estudio, se identificaron fuentes de contaminación (véase Figura 3) que se considera que fueron responsables de las diferencias en las mediciones. Este hallazgo subraya la importancia de promover una

cultura de la sustentabilidad ambiental, económica y social en el área, especialmente siendo un centro cultural de conservación.

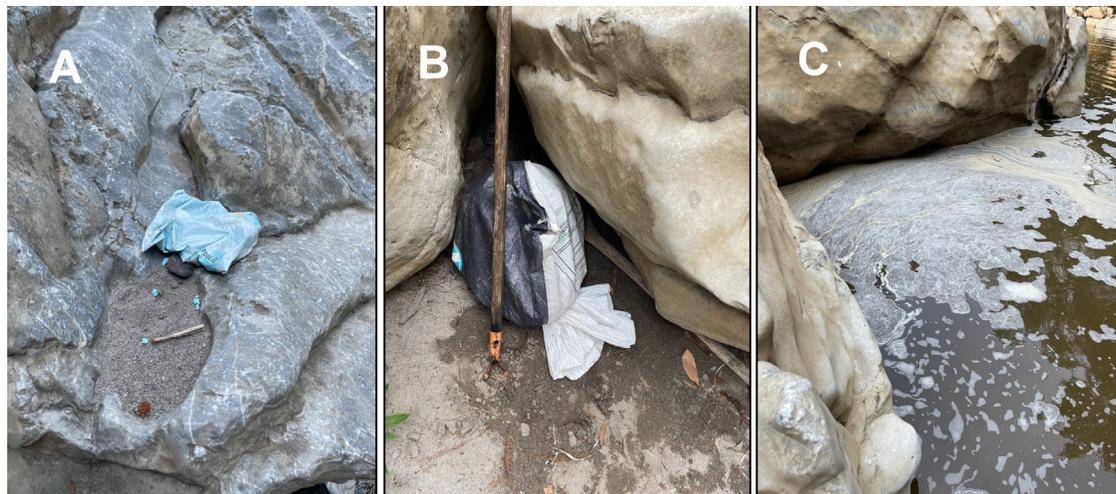


FIGURA 3. A) Bolsa de detergente, B) Bolsa de basura y C) Agua contaminada.

Cuando existen fuentes de contaminación en los cuerpos de agua, como las ilustradas en la Figura 3, el aumento en las concentraciones de fosfatos y nitratos puede generar un problema de calidad de agua conocido como *eutrofización*. Este fenómeno favorece la proliferación de algas fitoplanctónicas, lo que resulta en el deterioro del medio acuático. Hasta ahora, esta condición aún no ha sido reportada en el Río Amacuzac, el cual aún se considera un cuerpo de agua moderadamente contaminado y sin problemas significativos de eutrofización; gracias a que su capacidad de autodepuración mediante procesos naturales físicos, químicos y biológicos continúa siendo efectiva (Martínez, 2021). Este río es designado como área prioritaria de conservación, con ciertas secciones de sus riberas clasificadas como Áreas Naturales Protegidas. Se destaca especialmente la zona dentro del Parque Nacional “Grutas de Cacahuamilpa”, reconocida como Área de Importancia para la Conservación de las Aves (Huelz y Contreras, 2004). Este estudio subraya cómo la falta de educación ambiental puede llevar a una fácil contaminación de sus aguas, resultando en la degradación de la calidad del agua y afectando los ciclos hidrológicos y biogeoquímicos.

Conclusiones

El análisis químico en sistemas acuáticos se considera una práctica fundamental para las y los interesados en las Ciencias de la Tierra. Por esta razón, se proponen metodologías experimentales que pueden llevarse a cabo tanto en laboratorios como en prácticas de campo. Realizar estas metodologías en el laboratorio antes de la práctica de campo permite al estudiantado desarrollar las habilidades necesarias para el trabajo en el campo. Por otro lado, llevar a cabo estas metodologías en el laboratorio con muestras recolectadas durante la práctica de campo les permite valorar aún más las metodologías empleadas. Comparar y discutir los resultados obtenidos en el laboratorio y en el campo promueve un aprendizaje integral y holístico.

La estrategia de fomentar el análisis químico *in situ* en campo tiene como objetivo mostrar al estudiantado que esta actividad no es meramente académica, sino que tiene aplicaciones prácticas significativas en el campo. Además, gracias a esta estrategia, es

posible realizar análisis detallados de sistemas acuáticos reales utilizando kits económicos y de fácil uso. Esto capacita al estudiantado para detectar problemas derivados de una educación ambiental deficiente en la región de estudio y proponer acciones y soluciones que consideren los aspectos ambientales, sociales y económicos. De este modo, se cumple con uno de los propósitos de la formación en las Ciencias de la Tierra: preparar profesionales capaces de abordar los diversos procesos terrestres relacionados con los impactos ambientales.

Agradecimientos

Investigación realizada gracias al Programa UNAM-PAPIIT IA101324. Se agradece a la ENCiT, al Laboratorio de Evolución Química y al Laboratorio de Química de Plasmas y Estudios Planetarios del Instituto de Ciencias Nucleares de la UNAM por todas las facilidades proporcionadas para la realización de la práctica de campo el 20 de mayo de 2023. También se reconoce el esfuerzo y la dedicación de nuestras queridas y queridos estudiantes de la segunda generación de la Orientación de Ciencias Acuáticas de la Licenciatura en Ciencias de la Tierra de la ENCiT, quienes realizaron las mediciones mostradas en este trabajo.

Referencias

- Baeza, A. (2003). Microbureta a microescala total para titulometría. *Revista Chilena de Educación Científica*, 1(2).
- Bashkin, V. N., y Howarth, R. W. (2003). *Modern biogeochemistry*. Kluwer Academic Publishers.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. (2006). *Programa de Conservación y Manejo Parque Nacional Grutas de Cacahuamilpa*. https://simec.conanp.gob.mx/pdf_libro_pm/79_libro_pm.pdf
- Harris, D. C. (2007). *Análisis químico cuantitativo*. Reverte.
- Huelz, J. A. S., y Contreras, J. V. (2004). Registros notables de *Lontra longicaudis annectens* (Carnivora: Mustelidae) en el río Amacuzac en Morelos y Guerrero. *Revista Mexicana de Mastozoología (Nueva Época)*, 6(1), 83-89. <https://doi.org/10.22201/ie.20074484e.2002.6.1.107>
- Karp, G. (2009). *Biología celular y molecular: Conceptos y experimentos*. McGraw Hill.
- Martínez, Z. A. (2021). *Aplicación de bioindicadores e índices biológicos y ecológicos para evaluar el estado de salud del río Amacuzac* [Tesis de maestría, Centro de Investigaciones Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos]. Repositorio Institucional. <http://riaa.uaem.mx/handle/20.500.12055/1925>
- Vitoria, I., Maraver, F., Sánchez-Valverde, F., y Armijo, F. (2015). Contenido en nitratos de aguas de consumo público españolas. *Gaceta Sanitaria*, 29(3), 217-220. <https://dx.doi.org/10.1016/j.gaceta.2014.12.007>