



# Optimización de datos en sistemas de monitoreo hídrico de nitratos

## Data optimization in nitrate water monitoring systems

Laura Hernández-Alpizar<sup>1</sup>, Arys Carrasquilla-Batista<sup>2</sup>,  
Lilliana Sancho-Chavarría<sup>3</sup>

---

Hernández-Alpizar, L; Carrasquilla-Batista, A; Sancho-Chavarría, L. Optimización de datos en sistemas de monitoreo hídrico de nitratos. *Tecnología en Marcha*. Edición especial 2020. 6th Latin America High Performance Computing Conference (CARLA). Pág 106-111.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v33i5.5086>

1 Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Química. Costa Rica.  
Correo electrónico: lahernandez@tec.ac.cr.

2 Instituto Tecnológico de Costa Rica, Ingeniería Mecatrónica. Costa Rica.  
Correo electrónico: acarrasquilla@tec.ac.cr.

3 Ingeniera en Computación, Máster en Computación, Doctora en Ingeniería. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Ingeniería en Computación. Costa Rica.  
Correo electrónico: lsancho@tec.ac.cr.



## Palabras clave

Disparador de frecuencia; Internet de las Cosas; monitoreo de nitratos.

## Resumen

Actividades antropogénicas, tal como la fertilización intensiva, generan un aumento en la concentración de nitratos de los sistemas hídricos que puede provocar contaminación en aguas de consumo humano y eutrofización en aguas superficiales. El análisis de muestras discretas revela diferencias espaciales en la concentración, pero un análisis continuo proporciona más información acerca del origen, la dinámica hidrológica, el transporte y procesamiento de los nitratos. Sin embargo, la frecuencia, el periodo y la calidad de los datos deben ser optimizados de acuerdo con el objetivo de investigación, ya que, un monitoreo continuo implica un alto consumo instrumental y una gran generación de datos que puede no aportar información relevante para el objetivo. La espectroscopía UV con análisis en flujo continuo es una técnica que de forma directa cuantifica la concentración de nitratos y se adapta bien a un monitoreo de alta resolución. En este trabajo se plantea el diseño de un sistema que utiliza este tipo de análisis acoplado a un sensor de conductividad, el cual se utiliza como disparador de frecuencia de muestreo. Además, se implementa el uso de Internet de las Cosas (IoT) tanto para realizar procesos de configuración en la toma de datos como para el accionamiento electromecánico remoto lo que permite un ajuste manual o automático en la obtención de datos y consecuentemente, de la información temporal y espacial requerida para el estudio de nitratos en el recurso hídrico.

## Keywords

Frequency triggers; Internet of Things; nitrates monitoring.

## Abstract

Anthropogenic activities, such as intensive fertilization, generate an increase in the concentration of nitrates in water systems that can cause contamination in waters for human consumption and eutrophication in surface waters. Discrete sample analysis reveals spatial differences in concentration, although continuous analysis provides more information about the origin, hydrological dynamics, transport, and nitrates bioprocessing. Nevertheless, the frequency, the period and the data quality must be optimized according to the research objective, since continuous monitoring implies high instrumental consumption and a large generation of data that may not provide relevant information for the objective. UV spectroscopy with continuous flow analysis is a technique that directly quantifies nitrate concentration and is well suited to high resolution monitoring. In this work, the design of a system that uses this type of analysis is proposed coupled to a conductivity sensor, as a trigger for the sampling frequency. Furthermore, the use of the Internet of Things (IoT) is implemented both to carry out configuration processes in data collection and for remote electromechanical actuation, which allows manual or automatic adjustment in obtaining data and, consequently, the information temporal and spatial required for the study of nitrates in the water resource.

## Introducción

El exceso de nitratos que entra a los sistemas hídricos es un problema creciente de contaminación de aguas de consumo humano y también de eutrofización de aguas superficiales a nivel global y su principal origen se encuentra en actividades antropogénicas tales como la

fertilización intensiva de cultivos o la ganadería [1]–[3]. Estas actividades son de manejo, intensidad e impacto variable y una toma poco frecuente de muestras (por ej. mensual) puede que brinde información de la distribución espacial de la contaminación, particularmente si es durante un largo periodo [4], pero no es útil para comprender los procesos dinámicos de origen, transporte y procesamiento de los nitratos, lo cual es un conocimiento necesario para la toma de decisiones y acciones de mitigación. Para estos fines, es más apropiado un sistema de monitoreo de alta frecuencia, el cual puede dar información de tendencia o líneas base, distinguir impactos, efectos o cambios ya sea en corrientes de agua superficiales, océanos, embalses hidroeléctricos o acuíferos [5], [6]. Aunque la información requerida para alcanzar un objetivo de investigación también puede provenir de un equilibrio entre el periodo de muestreo y la frecuencia de toma de muestras u obtención de datos [7].

En la actualidad hay sistemas de análisis continuo de nitratos de alta precisión, especificidad que permiten la obtención de datos con una frecuencia ideal para la construcción de sistemas de monitoreo continuo, estos son los sistemas de flujo continuo de la muestra o de sondas sumergibles con detección por espectroscopia UV [8]–[12]. Pero la recolección de una gran densidad de datos tiene un costo computacional e instrumental elevado y no necesariamente aporta información [13], [14]. Además, los sistemas continuos pueden introducir nuevas fuentes de error analítico que afectan la calidad de los datos [6], [15]. De manera que plantear una estrategia instrumental y computacional para el ajuste de la obtención de datos es un requerimiento en el diseño de sistemas continuos para análisis cuantitativo, en este caso, del agua [11].

Existen diversas formas de optimizar el volumen y calidad de datos que se obtienen de un monitoreo continuo de nitratos. Una estrategia para ajustar la frecuencia de muestreo de un analito, de forma adaptativa, es utilizando disparadores de frecuencia [13]. Esta es posible de implementar si existe una propiedad u otro analito medible que se relaciona de alguna manera y con una varianza similar al analito de interés. Por ejemplo, la precipitación, la turbulencia, el nivel de agua o la conductividad eléctrica (CE) pueden relacionarse con variaciones de concentración de nitratos [13]. También se puede efectuar un tratamiento y reducción estadística de datos [7], utilizar información científica previa acerca del comportamiento del analito de interés [5], [6] u observar gráficamente cambios repentinos o tendencias que indiquen hacer ajustes manuales o automáticos, e idealmente de forma remota puesto que el monitoreo continuo debe tener un máximo de autonomía [16].

En este trabajo se consideran las diversas opciones antes mencionadas para la evaluación de nitratos en el recurso hídrico con un sistema de monitoreo continuo y se describe el uso de dos innovaciones desarrolladas en el Instituto Tecnológico de Costa Rica (TEC), integradas en una propuesta de diseño instrumental que permite el monitoreo de nitratos con una frecuencia ajustable de muestreo y de la obtención de datos.

## Método

### Diseño del sistema de muestreo y análisis

En investigaciones previas se desarrolló una innovación en la metodología para la calibración y medición en línea de nitratos en presencia de interferencias [17, 18]. Para la ejecución del este método se requiere efectuar operaciones de muestreo, filtración, calibración, medición y limpieza. Estas operaciones se esquematizan para su inclusión en accionamientos remotos de válvulas y actuadores.

El sistema incluye el desarrollo de un software para el procesamiento de datos, calibración y medición con posibilidades de almacenamiento remoto de los datos, denominado MOLABS. EL

espectrómetro puede generar una ráfaga de datos por milisegundo, en unidades de absorbancia (U.A.) entre las longitudes de onda 200.00-400.00 nm ( $\pm 0.10$ ). Sin embargo, el recorrido de una completamente nueva toma de muestra hasta el detector puede tardar entre 30 s y 1 min, por lo que se toma un minuto como el mínimo de frecuencia entre la obtención de datos.

En otra investigación desarrollada en el Instituto Tecnológico de Costa Rica (TEC), se diseñó un sensor de conductividad que se encuentra en proceso de patente [19] y tiene la particularidad de que puede permanecer sumergido por largos periodos de tiempo sin necesidad de mantenimiento o calibración, una característica deseable para un sistema de monitoreo continuo. Para el ajuste de la frecuencia de muestro se conecta este sensor de conductividad al sistema y, para optimizar aún más la generación de datos se utiliza la capacidad del software de promediar las señales de absorbancia en un tiempo determinado por el usuario.

### Almacenamiento de datos y IoT

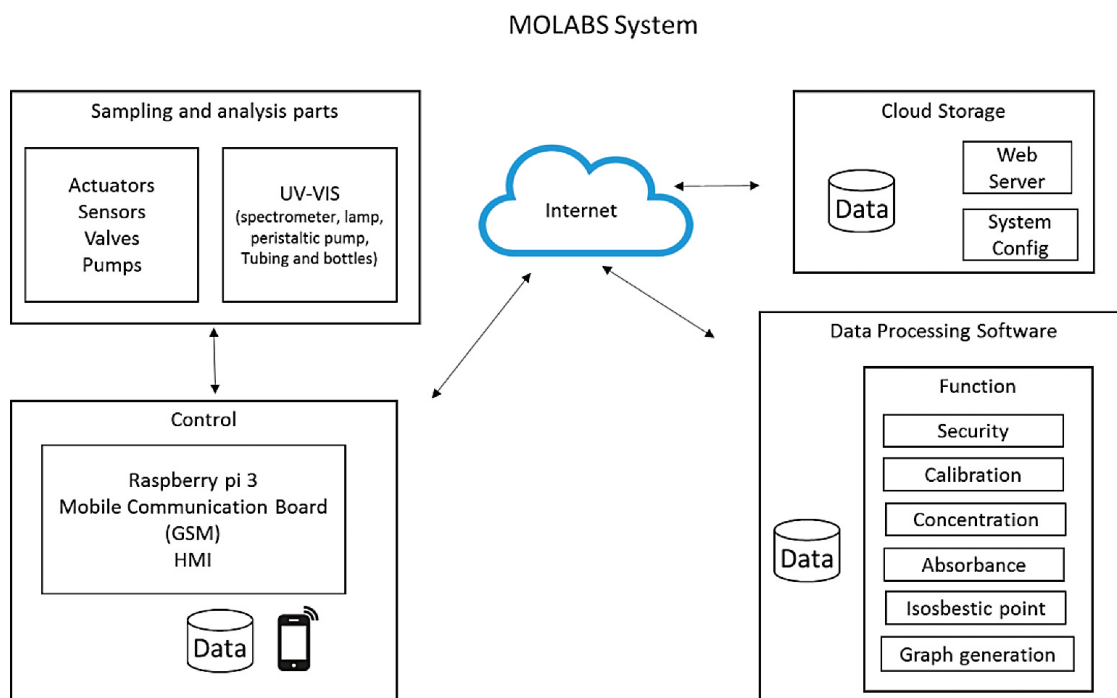
El servicio de almacenamiento datos debe cumplir requerimientos mínimos de disponibilidad (de al menos 95%), seguridad, facilidad de integración a distintas plataformas, capacidad de almacenamiento flexible y autoajutable, facilidad de interconexión a dispositivos COTS (Circuits-off-the-shelf, por sus siglas en inglés), acceso a direcciones IP elásticas para el manejo de dinámico de las aplicaciones en la nube y por último, que las instancias del servidor sea compatible con los sistemas operativos comerciales y abiertos. Estas capacidades se encuentran en diversos servicios comerciales.

En el diseño final del sistema se utiliza IoT para el sistema de control, almacenamiento y acceso remoto de datos. Este sistema ya ha sido implementado en aplicaciones de medición de variables ambientales [20].

### Resultados

En la figura 1 se muestra un esquema conceptual del manejo del sistema para monitoreo de nitratos MOLABS por medio de IoT.

En el bloque de control, los datos son adquiridos y almacenados localmente en una plataforma IoT, tipo Raspberry pi3, con conectividad a un servidor WEB mediante telefonía celular. La configuración permite el control local y remoto del sistema de muestreo y análisis. Los datos almacenados y disponibles en la nube pueden ser accedidos tanto en una aplicación WEB como con software de funcionamiento local, con el cual se puede efectuar procesamiento y visualización gráfica de los datos, evaluación de la calibración analítica, tendencia de los resultados o cambios. Con la información generada se puede cambiar frecuencia de muestreo y realizar operaciones instrumentales. Sin embargo, es necesario incluir criterios estadísticos de valoración inmediata de desviaciones, calidad, varianza para el ajuste automático de frecuencia y obtención de datos.



**Figura 1.** Sistema de monitoreo remoto de nitratos

## Conclusión

La optimización del volumen de datos es una parte integral e importante del diseño para el sistema de monitoreo hídrico de nitratos propuesto, ya que permite cambiar su resolución en función del objetivo de medición, el aseguramiento de la calidad y representatividad de los datos en función de la variación. Las características instrumentales del módulo de análisis, el disparador de muestreo, así como la gestión y control del sistema por medio de IoT se eligieron considerando el potencial de autonomía y automatización del sistema. Se recomienda incluir en las próximas fases del diseño instrumental criterios estadísticos de evaluación de calidad y pertinencia científicas de los datos. Adicionalmente, se planifica la inclusión en el software de la estimación de las capacidades instrumentales tales como energía, duración de la intensidad de la lámpara, duración de las acciones de mantenimiento y limpieza en función de la duración del periodo de muestreo y su frecuencia así como el control de calidad de la medición y el funcionamiento del sistema mediante la introducción periódica de una muestra de validación.

## Referencias

- [1] D. E. Canfield, A. N. Glazer, and P. G. Falkowski, "REVIEW The Evolution and Future of Earth's Nitrogen Cycle," *Science* (80-. ), vol. 330, pp. 192–196, 2010.
- [2] J. W. Erisman, A. Bleeker, J. Galloway, and M. S. Sutton, "Reduced nitrogen in ecology and the environment," *Environ. Pollut.*, vol. 150, no. 1, pp. 140–149, 2007.

- [3] D. Fowler et al., "The global nitrogen cycle in the twenty-first century The global nitrogen cycle in the twenty-first century," 2013.
- [4] T. P. Burt, N. J. K. Howden, F. Worrall, and M. J. Whelan, "Long-term monitoring of river water nitrate : how much data do we need ?", *J. Environ. Monit.*, pp. 71–79, 2010.
- [5] M. P. Miller et al., "Quantifying watershed-scale groundwater loading and in-stream fate of nitrate using high-frequency water quality data," *Water Resour. Res.*, 52, pp. 330-347, 2016.
- [6] B. A. Pellerin et al., "Mississippi River Nitrate Loads from High Frequency Sensor Measurements and Regression-Based Load Estimation," *Environmental Science & Technology*, 48(21), pp. 12612–12619, 2014.
- [7] Y. Guo, M. Markus, and M. Demissie, "Uncertainty of nitrate-N load computations for agricultural watersheds," *Water Resources Research*, vol. 38, no. 10, 2002.
- [8] V. Cerdá, J. Avivar, and A. Cerdá, "Laboratory automation based on flow techniques," *Pure Appl. Chem.*, vol. 84, no. 10, pp. 1983–1998, 2012.
- [9] M. Trojanowicz and K. Kołacińska, "Recent advances in flow injection analysis," *Analyst*, vol. 141, no. 7, pp. 2085–2139, 2016.
- [10] Y. C. Moo, M. Z. Matjafri, H. S. Lim, and C. H. Tan, "New development of optical fibre sensor for determination of nitrate and nitrite in water," *Optik (Stuttg)*., vol. 127, no. 3, pp. 1312–1319, 2016.
- [11] T.M. Mathany, J. F. Saraceno, and J. T. Kulongoski "Guidelines and Standard Procedures for High-Frequency Groundwater-Quality Monitoring Stations — Design, Operation, and Record Computation Techniques and Methods 1 – D7." USGS. 2019.
- [12] B. A. Pellerin, B. A. Bergamaschi, B. D. Downing, J. F. Saraceno, J. D. Garrett, and L. D. Olsen. Chapter "Optical Techniques for the Determination of Nitrate in Environmental Waters : Guidelines for Instrument Selection , Operation , Deployment , Maintenance , Quality Assurance , and Data Reporting." USGS, 2013.
- [13] P. J. Blaen, K. Khamis, C. E. M. Lloyd, C. Bradley, D. Hannah, and S. Krause, "Real-time monitoring of nutrients and dissolved organic matter in rivers: Capturing event dynamics, technological opportunities and future directions," *Sci. Total Environ.*, vol. 569–570, pp. 647–660, 2016.
- [14] A. J. Horowitz, "A Review of Selected Inorganic Surface Water Quality-Monitoring Practices : Are We Really Measuring What We Think , and If So , Are We Doing It Right ?", 2013.
- [15] R. D. Harmel, R. J. Cooper, R. M. Slade, R. L. Haney, and J. G. Arnold, "Cumulative uncertainty in measured streamflow and water quality data for small watersheds". *Transactions of the ASABE*, vol. 49, no. 3, pp. 689–701, 2006.
- [16] ASTM. D3864 – 12, "Standard Guide for On-Line Monitoring Systems for Water Analysis 1," pp. 1–14, 2014.
- [17] L. Hernández-Alpizar and R. Coy-Herrera, "Cuantificación de nitratos en agua potable para análisis en línea" *Tecnología en Marcha*. vol. 28, pp. 86–93, 2015.
- [18] L. Hernández-alpizar and R. Coy-herrera. Dispositivo y método de calibración interpolativo en análisis cuantitativo de flujo continuo. 2019. CR20180476 (A). [https://worldwide.espacenet.com/searchResults?submitted=true&locale=en\\_EP&DB=EPODOC&ST=singleline&query=CR20180476&Submit=Search](https://worldwide.espacenet.com/searchResults?submitted=true&locale=en_EP&DB=EPODOC&ST=singleline&query=CR20180476&Submit=Search)
- [19] A. Carrasquilla-Batista. "Sensor de conductividad resistente a medios acuosos altamente salinos," noviembre 2017, CR 20170516 (A), Patente pendiente. [Online]. [https://worldwide.espacenet.com/searchResults?AB=&AP=&CPC=&DB=EPODOC&IC=&IN=&PA=&PD=&PN=CR20170516A&PR=&ST=advanced&TI=&bclid=1&locale=en\\_EP&page=0&return=true](https://worldwide.espacenet.com/searchResults?AB=&AP=&CPC=&DB=EPODOC&IC=&IN=&PA=&PD=&PN=CR20170516A&PR=&ST=advanced&TI=&bclid=1&locale=en_EP&page=0&return=true)
- [20] A. Carrasquilla-Batista, A. Chacón-Rodríguez, M. Solorzano-Quintana. Internet of Things for the Global Community (IoTGC-2017), "IoT applications : on the path of Costa Rica ' s commitment to becoming carbon-neutral," Portugal, 2017.