



Monitoreo de calidad del agua en sistema de agua potable rural

Alvaro Conejeros Molina, Camilo Huechaqueo Pichunman, Boris L. Martinez-Jimenez, Arley Placeres Remior

RESUMEN / ABSTRACT

El procedimiento existente para analizar la potabilidad y niveles de contaminación de los sistemas de Agua Potable Rural (APR) presenta deficiencias como solo un muestreo mensual, bajo presupuesto y sistema sin vigilancia continua. Este trabajo propone un sistema de análisis y monitoreo en tiempo real de las principales variables que determinan la calidad del agua potable en una APR, sistema de bajo costo capaz de entregar información oportuna. Para lograrlo, se abordan las principales variables que determinan la calidad del agua potable, los sensores adecuados, el sistema de comunicación, la programación, la obtención de un sensor virtual microbiológico basado en inteligencia artificial, el procesamiento de datos en la nube y se validan los resultados a nivel de prototipo. Los sensores empleados son de pH, conductividad, turbidez, sólidos disueltos totales (TDS), temperatura y potencial de reducción de la oxidación (ORP). Para el análisis microbiológico, factor importante y complejo, los sensores poseen un costo inalcanzable para las APR. Aquí se emplea un sensor virtual inteligente basado en sistema difuso para determinar posible contaminación microbiológica, que emplea como entradas los valores de turbidez, ORP, temperatura y TDS. La adquisición de datos se realiza con sistema IoT de bajo costo, un Arduino y una RaspberryPi. Para la programación se emplea Node Red, para computación en la nube se emplea la plataforma IBM Cloud y para la comunicación se emplea red 3G de compañía Entel. Finalmente, se implementa un prototipo donde se comprueba el funcionamiento adecuado de todo el sistema.

Palabras claves: Monitoreo calidad del agua; Sensores; Internet de las Cosas; Sistemas Difusos; Nube IBM

The existing procedure to analyze the potability and contamination levels of the Rural Potable Water (APR) systems has deficiencies such as only a monthly sampling, low budget and a system without continuous surveillance. This work proposes a real-time analysis and monitoring system of the main variables that determine the quality of drinking water in an APR, a low-cost system capable of delivering timely information. To achieve this, the main variables that determine the quality of drinking water are addressed, the appropriate sensors, the communication system, programming, obtaining a virtual microbiological sensor based on artificial intelligence, data processing in the cloud and validated the results at the prototype level. The sensors used are pH, conductivity, turbidity, total dissolved solids (TDS), temperature and oxidation reduction potential (ORP). For microbiological analysis, an important and complex factor, the indicated sensors have an unattainable cost for APRs. Here we propose an intelligent virtual sensor based on a fuzzy system to determine possible microbiological contamination, which uses turbidity, ORP, temperature and TDS values as inputs. Data acquisition is done with the low cost IoT system, an Arduino and a RaspberryPi. Node Red is used for programming, the IBM Cloud platform is used for cloud computing, and Entel's 3G network is used for communication. Finally, a prototype is implemented where the proper functioning of the entire system is checked.

Keywords: Water quality monitoring, Sensors, Internet of Things, Fuzzy Systems, IBM Cloud

Water quality monitoring in rural drinking water system

1. -INTRODUCCIÓN

El Programa de Agua Potable Rural (APR) nace en Chile en el año 1964, a partir de que se estableció como prioritario el abastecimiento público de agua en 1959 y que se comprometió la meta de alcanzar el abastecimiento de agua potable al 50% de la población rural en la década 1960-1970. El Programa de APR de la Dirección de Obras Hidráulicas, perteneciente al Ministerio de Obras Públicas, tiene por misión abastecer de agua potable a localidades rurales, contribuyendo al desarrollo económico y a la integración social del país [1].

La calidad del agua para consumo humano es un desafío de Salud Pública. Actualmente, los APR cuentan con un sistema calendarizado de toma de muestras de agua para analizar los principales factores que determinan su potabilidad y sus niveles de contaminación, dicho sistema se vuelve deficiente en varios aspectos. Entre estos se destacan la deficiencia del sistema de muestras para detectar tempranamente los contaminantes (muestras se toman una vez al mes), bajo presupuesto para modernizar el sistema APR y sistema sin vigilancia continua de un operador.

Como posibles soluciones, existen sistemas sofisticados y tecnológicamente avanzados para la detección de contaminantes en línea [2-7], pero no son una opción debido a su costo, continuidad y requisitos de mantenimiento. Por otro lado, también se encuentran otras propuestas más asequibles [8-11], pero consumen mucho tiempo, no son en línea o dependen de especialistas calificados. A esto se añade que el uso de un sistema de monitoreo de la calidad del agua multifuncional, que contenga monitoreo continuo y comunicación inalámbrica simultáneamente, es poco frecuente [10, 12]. No obstante a lo anterior, existen soluciones promisorias empleando IoT, comunicación inalámbrica y técnicas inteligentes [13-15].

Por tanto, contar con una solución apropiada a la situación de los sistemas APR, capaz de entregar información fidedigna, oportuna, en línea y que permita realizar acciones pertinentes para asegurar la calidad del agua suministrada para consumo humano, generaría un gran impacto ya que solo en la región de la Araucanía hay aproximadamente 250 sistemas APR y, a lo largo del país, superan los 1500 sistemas de este tipo, los cuales abastecen al 99% de las zonas rurales concentradas del país.

Como objetivo de este trabajo, se establece obtener un sistema de monitoreo en APR de bajo costo capaz de analizar las principales variables que determinan la calidad del agua suministrada. Para lograrlo, se trabaja en identificar las principales variables que determinan la calidad del agua potable, definir los sensores adecuados para realizar las mediciones, el sistema de comunicación, la plataforma de programación y de transmisión de datos. Las contribuciones fundamentales que se hacen en este trabajo incluyen una propuesta de bajo costo para sistema de monitoreo de calidad del agua en áreas rurales de Chile, con la incorporación de un sistema de alertas inteligentes utilizando lógica difusa (*fuzzy logic*) a partir de mediciones de variables fundamentales.

2. Calidad del agua

La Norma de Calidad del Agua Chilena, o Norma NCH 409/1-NCH 409/2, establece los requisitos de calidad que debe cumplir el agua potable en todo el territorio nacional. Entre los parámetros importantes que establece la Norma Chilena de Calidad del Agua, se identifican los parámetros microbiológicos (presencia de bacterias), los parámetros químicos (rangos de sustancias químicas como amoníaco, cloruros, sulfatos, entre otras, así como pH y sólidos disueltos) y los parámetros físicos (sabor, olor, color, turbidez, conductividad eléctrica, entre otras)

De ellos, el análisis microbiológico es el más complejo. Actualmente hay múltiples metodologías para detectar la contaminación microbiana del agua. Sin embargo, los elevados costos que representan, los tiempos de análisis y aislamiento en cultivo de microorganismos, han sido obstáculo para establecer la calidad microbiana del agua para consumo humano [16]. Dentro de estas metodologías, existen varios mecanismos para realizar el análisis microbiológico, como medición indirecta a partir de variables físicas, medición directa de la composición de las bacterias y sus cambios en el agua (generalmente en tiempos mayores), y sensores modernos que pueden determinar directamente su formación y cuantificarla mediante el uso de transductores sumamente modernos o biosensores [3], pero su uso involucra un costo inaccesible para los comités de APR.

Entre los principales factores que inciden en la flora bacteriana, se encuentran [7, 11, 17]:

- acidez (disminuye el contenido de microorganismos)
- materia orgánica (alta presencia aumenta el contenido de microorganismos)
- oxígeno disuelto (a mayor cantidad, disminuyen los macroorganismos anaerobios)

- contenido de sales (a mayor cantidad de sales el agua se vuelve estéril, en bajas concentraciones de sales se estimula el desarrollo bacteriano)
- temperatura (influye en el aumento o disminución de contenido bacteriano)
- turbidez (alta turbidez aumenta el contenido bacteriano debido a que los rayos UV no realizan su función)

Considerando lo anterior, los resultados de trabajos similares junto a análisis de costo y tecnológico [8, 11, 18-21], se seleccionan como variables a medir el pH, la conductividad, la turbidez, la temperatura, el potencial redox (ORP) y el total de sólidos disueltos (TDS).

3. Sistema propuesto

Un sistema APR clásico está formado por cinco procesos: Captación, Decantado, Desinfección, Almacenamiento y Distribución, como se muestra en la Fig 1.

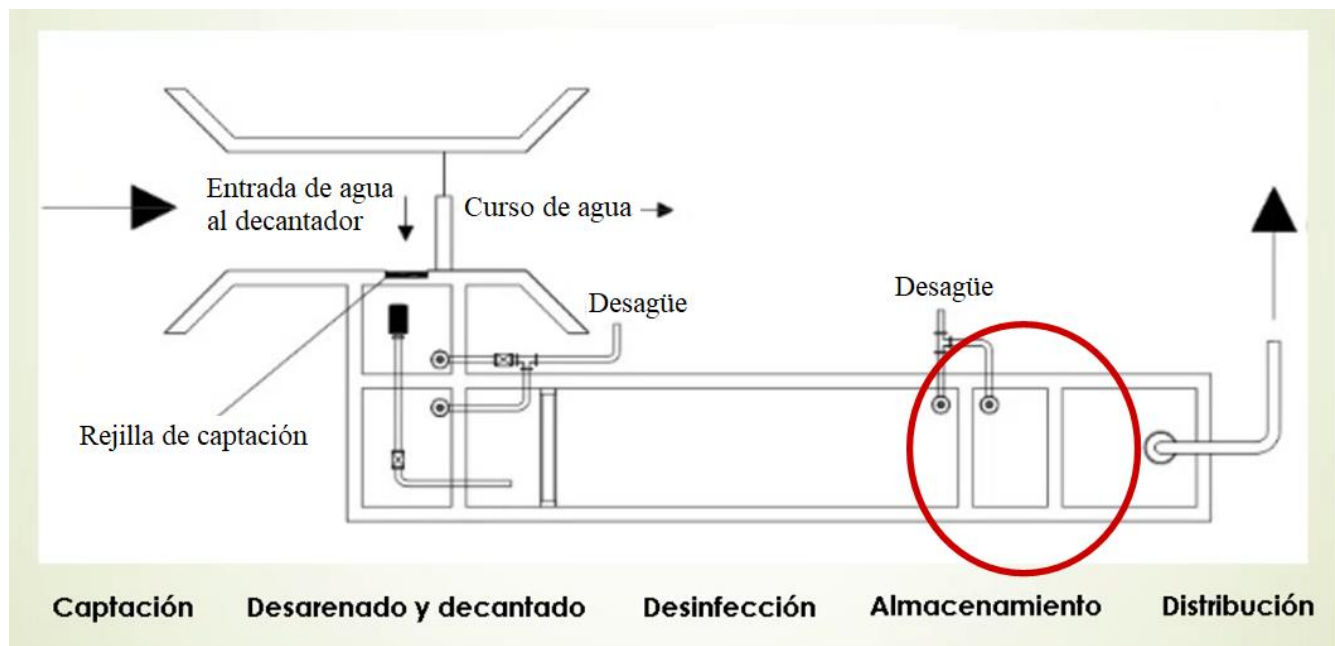


Figura 1

Procesos del funcionamiento del APR (el círculo rojo resalta lugar de instalación de sensores).

Fuente: elaboración propia

Aquí se propone un sistema que permite analizar en tiempo real las variables más importantes que determinan el grado de calidad del agua, mediante el uso de sensores y la transmisión de los datos a los respectivos responsables para su correcta interpretación. El sistema de monitoreo propuesto para analizar el estado del agua incluye seis sensores para medir las variables seleccionadas. La instalación de los sensores se realiza en el estanque de almacenamiento de agua, luego del proceso de Desinfección, debido a su posición estratégica en el proceso (Fig. 1). El sistema también incluye un Arduino, una Raspberry y se basa en almacenamiento y procesamiento de datos en la nube (Fig. 2). Para validar funcionamiento del sistema se construye un prototipo. El esquema de conexiones de sensores y hardware se muestra en Fig. 3.

Junto a lo anterior, se propone un predictor inteligente de contaminación microbiológica basado en medición indirecta y lógica difusa, el cual ayudará a la toma de decisiones. El mecanismo difuso se usa para estimar la contaminación microbiológica los valores de las variables turbidez, temperatura, potencial redox (ORP) y total de sólidos disueltos (TDS). La variable turbidez proporciona una visión fundamental del estado del agua, la temperatura indicará si el agua es potencialmente apta para la proliferación de bacterias, la variable OPR se analiza para descartar una contaminación por bacterias y los valores del sensor TDS, permiten discriminar el origen de la turbiedad del agua.

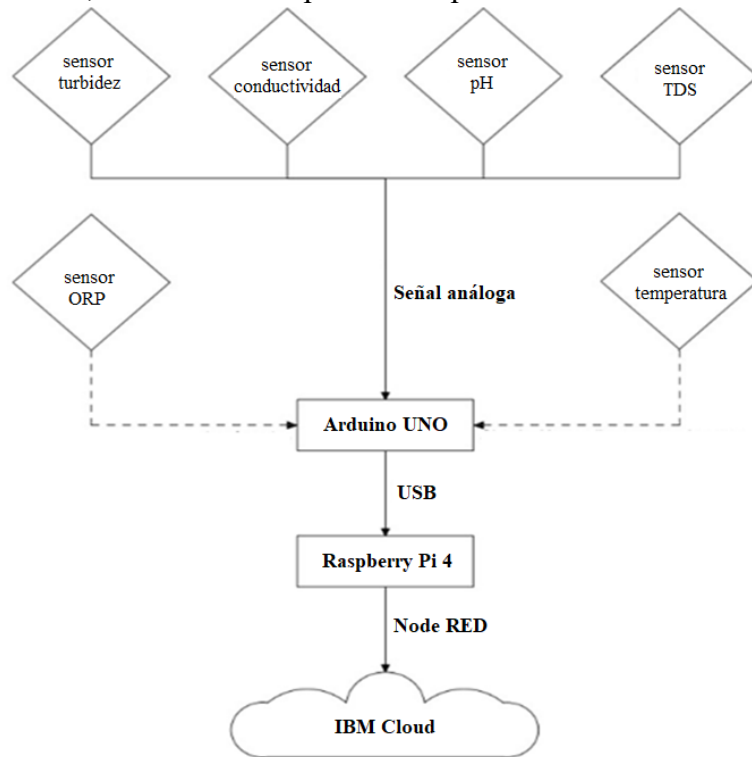


Figura 2

Diagrama de proceso,

Fuente: elaboración propia

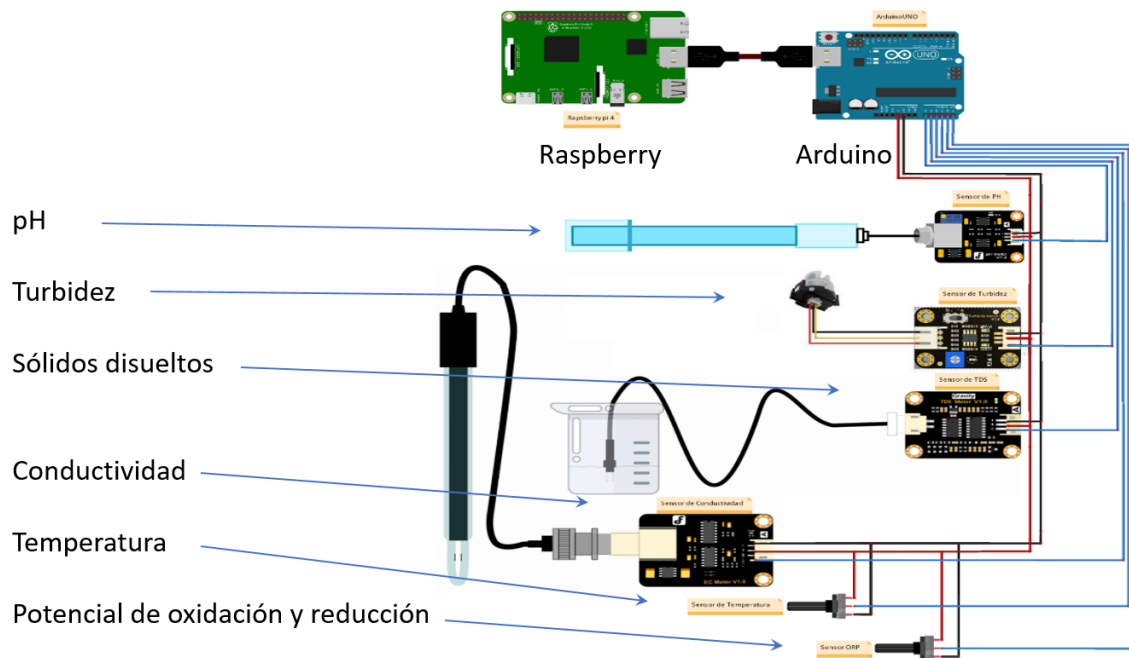


Figura 3

Esquema de conexiones

Fuente: elaboración propia

Alarmas del sistema

Para definir flujo de procesamiento y las posibles alarmas del sistema, se utiliza la clasificación establecida en la Norma Chilena de Calidad del Agua con relación a los parámetros (microbiológicos, químicos y físicos). Específicamente, se definen las siguientes alarmas:

Alarma química: se basa en el comportamiento del pH, donde se consideran valores entre 6.5 y 8.5 como normal.

Alarma física: se determina principalmente el olor, sabor y color del agua. Estos valores están estrechamente relacionados con la conductividad eléctrica del agua. En base a esto, valores bajo 0.7 dS/m se consideran normales, y superior a esto se considera que el agua no cumple las características físicas adecuadas.

Alarma microbiológica: para determinar una posible contaminación microbiológica se utilizan los valores de los sensores de turbidez, ORP, temperatura y TDS. Con los valores de estos cuatro sensores, se emplea un sistema *fuzzy* tipo Mamdani para generar las alarmas. Por tanto, el sistema cuenta con cuatro entradas y una salida. Cada entrada se trabaja en correspondencia con rangos del sensor y de la normativa, y la salida proporciona la probabilidad de contaminación microbiológica (Fig. 4).

Para construir el estimador se emplean cuatro pautas fundamentales. La turbidez es el factor determinante en la primera pauta, basado en la Norma Chilena de Calidad del Agua, este parámetro indica dentro del rango 0 a 10 NTU (Unidades Nefelométricas de Turbiedad) que, cuando el valor está por debajo de 5 NTU, se considera agua clara, mientras que valores por sobre 5 NTU indica que existe la presencia de algún contaminante que produce turbiedad. La siguiente pauta es determinada por la temperatura pues las bacterias sobreviven y crecen con mayor facilidad a temperaturas entre 15 y 45°C, y a partir de los 70°C, es casi imposible su supervivencia. La tercera pauta la determina el valor ORP, el cual funciona como un parámetro de descarte debido a que indica cuando es imposible la proliferación de bacterias, principalmente *Escherichia Coli* y *Salmonella*. Cuando el sensor entrega valores superiores a 650-700 mV, indica que es casi imposible la supervivencia de dichas bacterias. La cuarta pauta es generada por el sensor de TDS, este valor indicaría la probabilidad de que la causa de la turbiedad sea o no producto de partículas en suspensión y, a su vez, proporciona indicios de que la turbiedad no sea o sea ocasionada por bacterias. En este parámetro, se consideran valores aceptables por debajo de los 300 PPM, y si el agua presenta valores superiores a 600 PPM se puede determinar que el origen de la turbiedad es producto de partículas en suspensión en masa considerable. Finalmente, si el nivel de turbiedad es alto y el valor del parámetro TDS es bajo, representa que la turbiedad es producto de otro elemento presente en el agua.

El sensor microbiológico está basado en estas cuatro pautas. La salida tiene cinco funciones de pertenencia en un universo de alarma de contaminación de 0 a 10 (Fig. 4):

1. **INDETERMINADO** se genera cuando las reglas presentan condiciones impropias del sistema, como temperaturas sobre los 70°C o valores límites de pH. También se dan cuando existe incongruencia en las reglas, por ejemplo, turbiedad en valores cercanos a 10 y TDS en valores cercanos a 0 PPM.
2. **BAJO** se genera cuando existe una baja probabilidad de contaminación microbiológica, por ejemplo, en valores de turbiedad bajo 5 NTU y condiciones inapropiadas para la proliferación de bacterias.
3. **MEDIO** se genera cuando existe cierta posibilidad de contaminación microbiológica, tales como, nivel de turbiedad sobre 5 NTU y condiciones intermedias de parámetros de ORP, pero con un valor del parámetro de temperatura bajo 7°C.
4. **ALTA** se genera cuando se presentan todas las condiciones mínimas necesarias para que presencia bacteriana o contaminación microbiológica, por ejemplo, niveles altos de turbiedad, temperatura adecuada para el desarrollo de bacterias, ORP fuera del rango que asegura la eliminación de bacterias y TDS en niveles intermedios o bajos.
5. El indicador **OTRAS PARTICULAS** se presenta cuando el origen de la turbiedad es generado principalmente por sólidos disueltos o suspendidos en el agua, situación que el sensor TDS debe ser capaz de detectar.

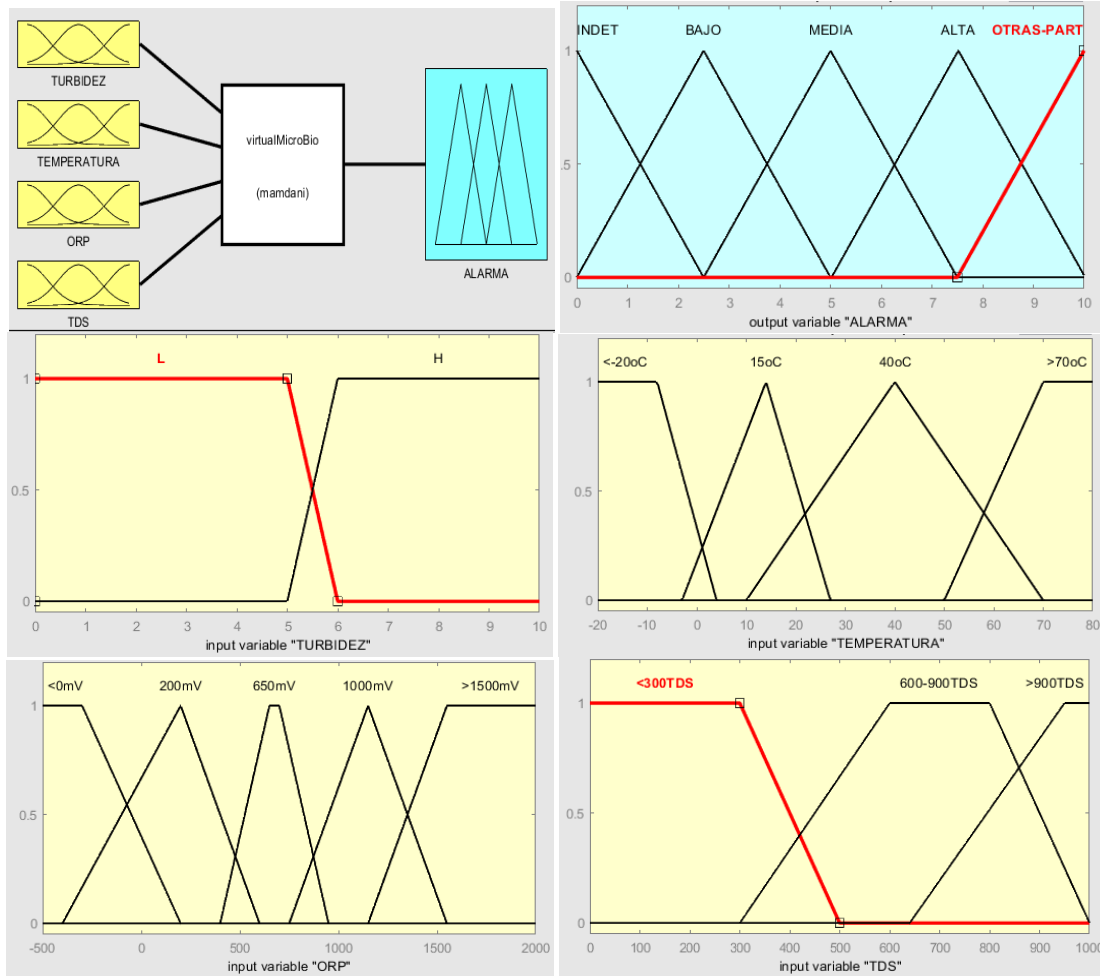


Figura 4

Sistema difuso (sensor virtual microbiológico)

Fuente: elaboración propia

4. Implementación

Se implementa un prototipo para la APR San Pedro Caivico, Vilcun. La adquisición de datos de las variables pH, temperatura, turbidez, total sólidos disueltos y conductividad se realiza a través de sensores conectados a un dispositivo IoT de bajo costo y de uso amigable (Fig. 3). Los sensores serán ubicados en el estanque de distribución cercano a la central de operaciones donde el operario podrá verificar sus estados con mayor facilidad. La información es recopilada y enviada por Internet (empleando protocolo MQTT), utilizando los servicios de IBM Cloud.

Para la interfaz web encargada de transmitir los datos se emplea la plataforma de IBM, debido a su capacidad de acceso, versatilidad y a que es una plataforma liberada que permite crear gráficos de visualización para los datos en tiempo real, visualizar cantidades físicas, el consumo de datos y almacenamiento de sus dispositivos. Específicamente, para crear la aplicación web en IBM Cloud se emplea Node-RED, herramienta desarrollada por IBM para conectar sensores, APIs y servicios de forma sencilla en aplicaciones IoT. Un extracto de la programación del flujo de Node RED se muestra en la Fig. 5. Además, se crea una pantalla de visualización (*dashboard*) y se asocia una planilla Excel, la cual podrá ser visualizada y descargada desde cualquier dispositivo.

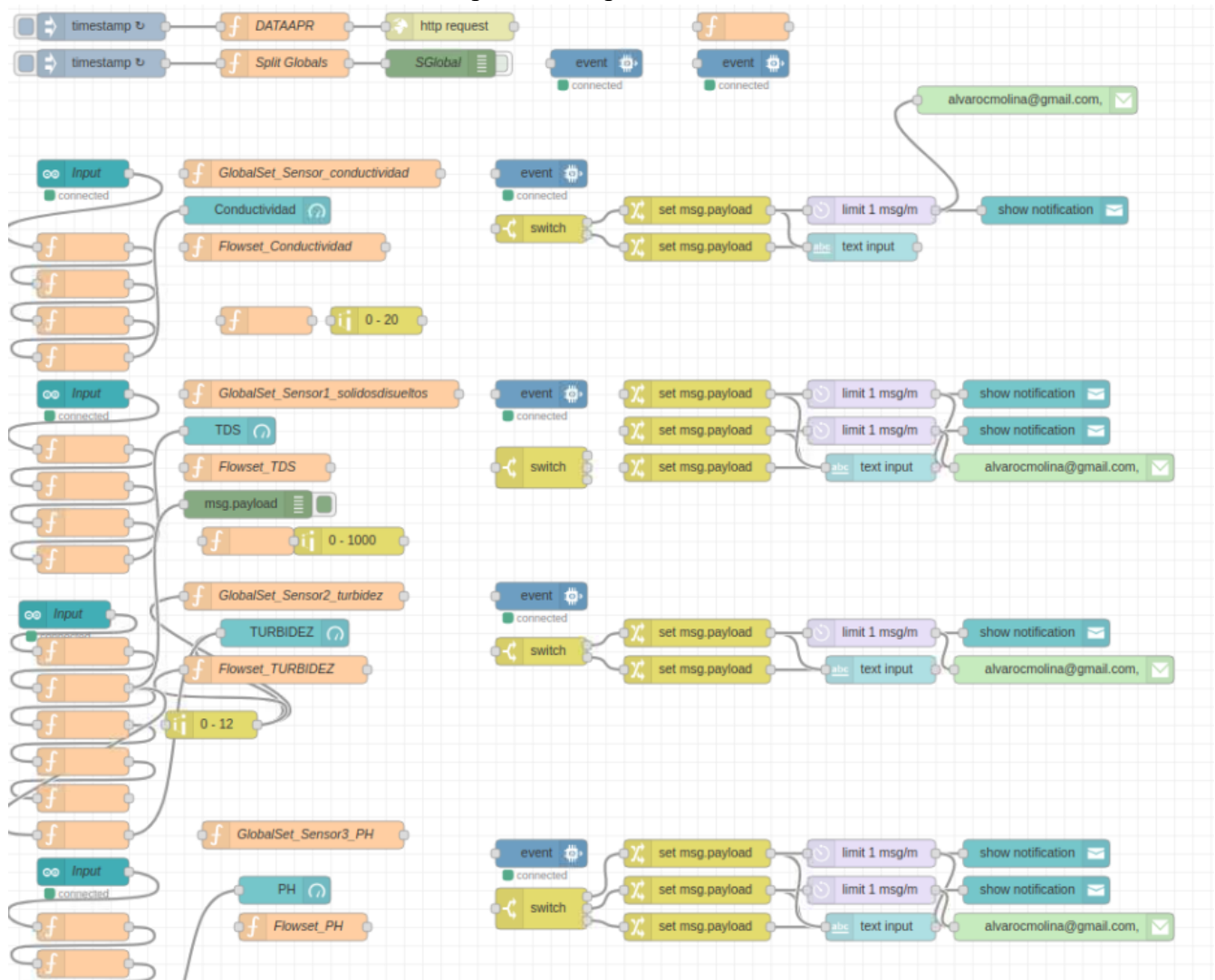


Figura 5

Flujo node-red del sistema propuesto

Fuente: elaboración propia

El prototipo cuenta con soporte wifi y se emplea la cobertura 3G de la compañía Entel, presente en casi toda el área rural. Se emplea dispositivo Raspberry para proceso de envío de datos de forma inalámbrica a la nube. También se envía correo electrónico con datos de los sensores y alarmas.

El diseño de la interfaz fue elaborado con la finalidad de que cualquier individuo pueda comprenderla fácilmente. La Fig. 6 muestra pantalla con información del estado de los seis sensores involucrados en el sistema de monitoreo y las alarmas. Junto a esto, se realiza registro de los valores en planilla Excel, importante para acceder al histórico de valores y analizar el comportamiento de los parámetros en el tiempo (Fig. 7).



Figura 6

Pantalla de visualización de parámetros medidos

Fuente: elaboración propia

APRcaivico

Archivo Editar Ver Insertar Formato Datos Herramientas Complementos Ayuda En curso...

Solo ver

	A	B	C	D	E	F	G	
1	Marca temporal	Conductividad	TDS	Turbidez	PH	ORP	Temperatura	
2	4/01/2021 23:44:48		228	234	235	235	230	226
3	4/01/2021 23:45:03		259	263	264	265	263	256
4	4/01/2021 23:45:18		256	260	261	263	263	260
5	4/01/2021 23:45:33		259	263	264	266	265	261
6	4/01/2021 23:45:48		228	234	235	235	230	226
7	4/01/2021 23:46:04		259	263	264	265	265	261
8	4/01/2021 23:46:18		247	252	253	253	249	242
9	4/01/2021 23:46:33		228	234	234	234	229	225
10	6/01/2021 21:24:57		375	362	722	621	523	469
11	6/01/2021 21:25:11		320	306	722	603	487	438

Figura 7

Registro de los datos en planilla dentro de la plataforma

Fuente: elaboración propia

5. - CONCLUSIONES

En el trabajo se abordó la implementación de un prototipo que permite analizar en tiempo real las variables más importantes que determinan el grado de calidad del agua, empleando una red de sensores y transmisión de los datos mediante comunicación inalámbrica para proveer acceso en línea a la información de la calidad del agua en una APR. Junto a esto, se propone un predictor inteligente de contaminación, el cual ayudará a la toma de decisiones. El prototipo se implementó en una APR de la región de La Araucanía, Chile. Para obtener el sistema eficiente y de bajo costo, se encontró que las variables más importantes a medir eran turbidez, conductividad, pH, temperatura, total sólidos disueltos y potencial redox. Los sensores son conectados a un dispositivo IoT de bajo costo y de uso amigable, basado en Raspberry, Arduino. Para el procesamiento, se empleó las potencialidades de la nube de IBM.

Un aspecto importante es el análisis microbiológico, que además de complejo, es costoso y el sistema actual de muestreo de realiza una vez al mes. Aquí se propuso un estimador basado en lógica difusa para valorar en línea y en distintos niveles o alarmas, el estado microbiológico. Para construir el estimador, se utilizaron las Normas Chilenas de Calidad del Agua e indicaciones de la OMS. El universo de discurso utilizado fue seleccionado bajo las características de cada entrada y para efectos de prototipo se desestiman reglas donde los valores de alarma arrojan parámetros no realistas o condiciones impropias del funcionamiento del sistema de análisis y monitoreo.

El proyecto presenta buenas expectativas, debido al bajo costo que conlleva frente a tecnologías similares y su sencillez. No obstante, se necesitan continuar el estudio del mejoramiento del prototipo y aumentar las experiencias en condiciones reales. Finalmente, la propuesta presentada pretende ser un complemento que permita obtener información en tiempo real y ayudar en la toma de decisiones oportunas.

REFERENCIAS

1. Donoso G., Calderón C., Silva M. Informe Final de la Evaluación del Programa de Agua Potable Rural. Santiago: Ministerio de Obras Públicas-Dirección de Obras Hidráulicas; 2015
2. Højris B, Kornholt SN, Christensen SCB, Albrechtsen HJ, Olesen LS. Detection of drinking water contamination by an optical real-time bacteria sensor. *H2Open Journal* 2018;1:160–8. <https://doi.org/10.2166/h2oj.2018.014>.
3. Skovhus TL, Højris B. Microbiological Sensors for the Drinking Water Industry. *International Water Association*; 2018. <https://doi.org/10.2166/9781780408699>.
4. Clausen CH, Dimaki M, Bertelsen CV, Skands GE, Rodriguez-Trujillo R, Thomsen JD, et al. Bacteria detection and differentiation using impedance flow cytometry. *Sensors (Switzerland)* 2018;18. <https://doi.org/10.3390/s18103496>.
5. Hossain SMZ, Mansour N. Biosensors for on-line water quality monitoring—a review. *Arab Journal of Basic and Applied Sciences* 2019;26. <https://doi.org/10.1080/25765299.2019.1691434>.
6. Yaroshenko I, Kirsanov D, Marjanovic M, Lieberzeit PA, Korostynska O, Mason A, et al. Real-time water quality monitoring with chemical sensors. *Sensors (Switzerland)* 2020;20. <https://doi.org/10.3390/s20123432>.
7. Liu Q. Intelligent water quality monitoring system based on multi-sensor data fusion technology. *International Journal of Ambient Computing and Intelligence* 2021;12:43–63. <https://doi.org/10.4018/IJACI.2021100103>.
8. Chowdury MSU, Emran T bin, Ghosh S, Pathak A, Alam MM, Absar N, et al. IoT based real-time river water quality monitoring system. *Procedia Computer Science*, vol. 155, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.08.025>.
9. Alam AU, Clyne D, Deen MJ. A low-cost multi-parameter water quality monitoring system. *Sensors* 2021;21. <https://doi.org/10.3390/s21113775>.
10. Ong NTJ, Yee SK. Review on water quality monitoring technologies. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science* 2020;18. <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v18.i3.pp1416-1423>.
11. Qin Y, Alam AU, Pan S, Howlader MMR, Ghosh R, Hu NX, et al. Integrated water quality monitoring system with pH, free chlorine, and temperature sensors. *Sensors and Actuators, B: Chemical* 2018;255. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2017.07.188>.
12. Yu HC, Tsai MY, Tsai YC, You JJ, Cheng CL, Wang JH, et al. Development of miniaturized water quality monitoring system using wireless communication. *Sensors (Switzerland)* 2019;19. <https://doi.org/10.3390/s19173758>.
13. Hong WJ, Shamsuddin N, Abas E, Apong RA, Masri Z, Suhaimi H, et al. Water quality monitoring with arduino based sensors. *Environments - MDPI* 2021;8. <https://doi.org/10.3390/environments8010006>.

Alvaro Conejeros Molina, Camilo Hueichaqueo Pichunman, Boris L. Martínez-Jiménez, Arley Placeres Remior
RIELAC, Vol. 42 3/2021 p. 60-70 Septiembre-Diciembre ISSN: 1815-5928

14. Olatinwo SO, Joubert TH. Enabling Communication Networks for Water Quality Monitoring Applications: A Survey. *IEEE Access* 2019;7. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2904945>.
15. Sharma SK, Sharma V, Mohamed HI, Khan H, Ahmed SS. Supervise the physicochemical quality of ground water using soft computing technique. *Environmental Technology (United Kingdom)* 2021. <https://doi.org/10.1080/09593330.2021.1983023>.
16. Ríos-Tobón S, Agudelo-Cadavid RM, Gutiérrez-Builes LA. Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano. *Rev. Fac. Nac. Salud Pública*, 2017; 35(2): 236-247. DOI: 10.17533/udea.rfnsp.v35n2a08
17. Obón, JM. Análisis microbiológico del agua. Dpto. Ingeniería Química y Ambiental. Universidad Politécnica de Cartagena; 2019
18. Pule M, Yahya A, Chuma J. Wireless sensor networks: A survey on monitoring water quality. *Journal of Applied Research and Technology* 2017;15. <https://doi.org/10.1016/j.jart.2017.07.004>.
19. Chen Y, Han D. Water quality monitoring in smart city: A pilot project. *Automation in Construction* 2018;89:307–16. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.02.008>.
20. Raja L, Shanthi G, Periasamy PS. Internet of things based real time water monitoring system. *International Journal of Recent Technology and Engineering* 2019;8:1368–72. <https://doi.org/10.35940/ijrte.B2026.078219>.
21. Rajalashmi K, Yugathian N, Monisha S, Jeevitha N. IoT based water quality management system. *Materials Today: Proceedings*, vol. 45, Elsevier Ltd; 2021, p. 502–15. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.110>.

CONFLICTO DE INTERESES

No existe conflicto de intereses entre los autores, ni con ninguna institución a la que cada uno está afiliado, ni con ninguna otra institución.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

La contribución del autor Alvaro Conejeros Molina en el presente trabajo incluye las tareas de conceptualización, curación de los datos y el análisis formal, adquisición de fondos y recursos, software, investigación, el procesamiento de los datos experimentales, validación, verificación, visualización y redacción del borrador original.

La contribución del autor Camilo Hueichaqueo Pichunman en el presente trabajo incluye las tareas de conceptualización, análisis formal, adquisición de fondos y recursos, software, investigación, el procesamiento de los datos experimentales, validación, verificación y redacción del borrador original.

La contribución del autor Boris L Martínez Jimenez en el presente trabajo incluye las tareas de conceptualización, análisis formal, investigación, supervisión, metodología, verificación, visualización, redacción del borrador original, revisión y edición del trabajo publicado.

La contribución del autor Arley Placeres Remior en el presente trabajo incluye las tareas de conceptualización, supervisión, metodología, verificación, visualización, redacción - revisión y edición del trabajo publicado.

AUTORES

Alvaro Conejeros Molina recibió el título Ingeniero en Automatización y Control Industrial en 2021 en la Universidad Tecnológica de Chile INACAP, Temuco, Chile. Correo electrónico: alvaro.conejeros03@inacapmail.cl, No.ORCID: 0000-0001-5753-0633. Sus principales intereses de investigación lo comprenden: automatización de procesos, industria 4.0, inteligencia artificial.

Camilo Hueichaqueo Pichunman, recibió el título Ingeniero en en Automatización y Control Industrial en 2021 en la Universidad Tecnológica de Chile INACAP, Temuco, Chile. Correo electrónico: camilo.hueichaqueo@inacapmail.cl, No.ORCID: 0000-0002-4665-0418 Sus principales intereses de investigación lo comprenden: automatización de procesos, industria 4.0, inteligencia artificial.

Boris L Martínez Jimenez recibió el título universitario de Ingeniero en Automática en 1996 en la Universidad Central de Las Villas (UCLV), obtuvo el título de Master en Automática (Mención: Control Inteligente y Robótica) en 2001 y el título de Doctor en Ciencias Técnicas en 2008 en la UCLV. Actualmente labora en la Universidad Autónoma de Chile (Carrera de Construcción), Temuco, Chile. Correo electrónico: boris.martinez@uautonoma.cl, No.ORCID: 0000-0001-6419-2927. Sus principales intereses de investigación lo comprenden: inteligencia artificial aplicada, industria 4.0, identificación y control de sistemas complejos.

Arley Placeres Remior es Licenciado en Educación con mención Mecánica y estudios en maquinaria agrícola en 1997, Magíster en Gerencia de la Ciencia y la Innovación en 2009 en la Universidad Central de Las Villas (UCLV). Actualmente es jefe de Carrera del TU en Producción Agropecuaria de la Universidad Católica de Temuco, Chile. Correo electrónico: aplaceres@uct.cl, No.ORCID: 0000-0002-4511-1607. Principales temas de investigación giran en torno a: la transferencia tecnológica a las comunidades rurales, diagnósticos y solución a través de proyectos agropecuarios, los ODS y la Economía Circular, sistemas de riego y tratamiento a fuentes de aguas potable rurales.



Esta revista se publica bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Sin Derivar 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)