



Artículo original / Original article

## Dispositivo para el monitoreo de calidad de agua en el consumo humano en Puerto Maldonado – Cusco

### Device for monitoring water quality for human consumption in Puerto Maldonado – Cusco

Nelly Jacqueline Ulloa-Gallardo <sup>1\*</sup>; Dany Dorian Isuiza-Pérez <sup>1</sup>; Junior Alain Contreras-Aguilar <sup>1</sup>; Wilberth Caviedes-Contreras <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, Puerto Maldonado, Perú

Recibido: 18/11/2021

Aceptado: 26/12/2021

Publicado: 25/01/2022

\*Autor de correspondencia: [nulloa@unamad.edu.pe](mailto:nulloa@unamad.edu.pe)

**Resumen:** El avance tecnológico ha impulsado que varios sectores usen la tecnología como apoyo para tener resultados exactos y tomar decisiones. El objetivo fue diseñar e implementar un dispositivo de monitoreo que permita medir la calidad del agua en el consumo humano en la Provincia de Tambopata corredor Interoceánico Puerto Maldonado. La muestra se calculó a través del muestreo aleatorio simple entre los kilómetros 98 - 115 visitando las diferentes quebradas, ojos de agua, pozos tubulares, aguajales, tomando las respectivas muestras de agua, que luego fueron analizadas con el dispositivo diseñado e implementado. En el centro poblado las personas que tienen pozos tubulares a más de 30 metros de profundidad el nivel de turbidez y pH del agua es menos en proporción con las quebradas, ojos de agua, aguajales, etc. Concluimos que no se debe consumir el agua de afluentes de quebradas, ojos de agua, aguajales, los que están en la superficie ya que existe un nivel de contaminación de diferentes tipos de materiales pesados y contaminantes que según normas de calidad de agua no es apto para el consumo humano.

**Palabras clave:** aguajales; pH; pozos tubulares; turbidez

**Abstract:** Technological progress has prompted several sectors to use technology as a support to obtain accurate results and make decisions. The objective was to design and implement a monitoring device that allows measuring the quality of water for human consumption in the Province of Tambopata Puerto Maldonado Interoceanic Corridor. The sample was calculated through simple random sampling between kilometers 98 - 115 visiting the different streams, springs, tubular wells, aguajales, taking the respective water samples, which were then analyzed with the designed and implemented device. In the populated center, the people who have tubular wells more than 30 meters deep, the level of turbidity and pH of the water is less in proportion to the streams, springs, aguajales, etc. We conclude that the water from tributaries of streams, springs, springs, aguajales and that which is on the surface should not be consumed, since there is a level of contamination from different types of heavy materials and contaminants, according to water quality standards, which makes it unfit for human consumption.

**Keywords:** aguajales; pH; tubular wells; turbidity

## 1. Introducción

La calidad del agua es de gran importancia para la sobrevivencia de todos los seres vivos y el funcionamiento de nuestros ecosistemas (Esquivel-Ayala & Tapia-Cabrera, 2021). A nivel mundial la calidad de agua está en peligro, por tal motivo es necesario tomar acciones radicales urgentemente en todos los países, la población arroja cada día 2 millones de toneladas de agua de desechos a los ríos, lagos, mares, océanos, aguajales, ojos de agua, etc., debemos promover mejores prácticas para el uso de nuestros desechos orgánicos e inorgánicos como también el mejorar nuestra infraestructura de agua potable, sanitarias y alcantarillados a nivel mundial (Peralta-Mahecha et al., 2021).

Se estima que en 2012 perdieron la vida 12,6 millones de personas por vivir o trabajar en ambientes poco saludables: casi una cuarta parte del total mundial de muertes, según nuevas estimaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2016). Los factores de riesgo ambientales, como la contaminación del aire, el agua y el suelo, la exposición a los productos químicos, el cambio climático y la radiación ultravioleta, contribuyen a más de 100 enfermedades o traumatismos (OMS, 2016).

En la ciudad de Puerto Maldonado, debido a la minería ilegal y la agricultura, los diferentes ríos de la provincia de Tambopata han sido contaminados y la calidad del agua se ha visto afectada para el consumo humano dando origen a enfermedades infecciosas a la población (Martínez et al., 2018), por lo que es importante y necesario el diseño e implementación de un prototipo para la medición de la calidad del agua (SPDA, 2019).

Al diseñar e implementar un prototipo permitirá un mayor control en la medición de la calidad del agua en estos ríos asegurando que dicha calidad sirva para el consumo humano en la Provincia de Tambopata similar al construido por Pappu et al. (2017). El equipo investigador desarrolló un prototipo que brinda los parámetros del agua como lo es el pH (potencial de hidrogeno), CE (conductividad eléctrica), y la temperatura se ha vuelto un proceso imprescindible para la toma de decisiones con respeto al control del agua.

Es importante registrar los parámetros para el mayor control de la calidad del agua y tener la información a la brevedad utilizando herramientas tecnológicas para la creación de prototipos basada en una plataforma electrónica con una gama de sensores sin necesidad de conectarse a una computadora como son las tarjetas electrónicas Arduino como el diseñado por Encinas et al. (2017).

El dispositivo de monitoreo de la calidad de agua para el consumo humano se configura para medir indicadores de calidad del agua, considerando las muestras que se han tomado en los diferentes lugares del corredor Interoceánico Puerto Maldonado, tomando la temperatura, pH, turbidez considerando las Normas de calidad del agua para el consumo humano en cuyo Artículo 4, inciso (1): "Define el Agua para Consumo como el agua que habrá de ser usada para bebida, preparación de alimentos, higiene personal, lavado de utensilios y ropa, el mismo que debe cumplir con los requisitos físicos, químicos y bacteriológicos que se exigen para el agua potable" (OMS, 2011).

## 2. Materiales y métodos

La investigación que se realizó fue de tipo aplicada, el diseño que se utilizó fue de tipo No Experimental, dentro del diseño No Experimental se utilizó el tipo de diseño transversal. Se llevó a cabo en el Corredor Interoceánico Puerto Maldonado - Cusco (La Pampa km. 98 - 115).

El dispositivo se desarrolló en Arduino, con sensores que miden el porcentaje de minerales contaminantes en el agua y se programó de acuerdo a las necesidades y estándares de calidad de agua a nivel mundial según lo especificado por OMS (2011) y basándonos en el diseño de Indrasari et al. (2019).

Se realizó muestreo en el corredor Interoceánico Puerto Maldonado - Cusco en especial la Pampa, tres muestras de agua en cada punto en diferentes fechas en los afluentes, se analizaron los datos y se dio a conocer los resultados para tomar decisiones correspondientes sobre la calidad de agua para el consumo humano.

El dispositivo se programó utilizando ULISA, lenguaje de programación utilizado para dispositivos basados en Arduino.

Las muestras fueron tomadas en los siguientes puntos:

Coordenadas	Lugar
-12° 894617, -70° 0696	Interoceánica Sur. Quebrada de Agua.
12°53'40.8" S 70°04'11.8" W	Pozo de agua (Lavadero de motos).
-12.883937, -70.0262	Puente Huancamayo Grande.
-12.887779, -70.016191	Interoceánica Sur. Población de la Pampa Km 107.
-12.891120, -69.9968	Interoceánica Sur. Quebrada de Agua.
-12.896145, -699867	Interoceánica Sur. Quebrada de Agua.

### 3. Resultados y discusión

Se diseñó el dispositivo de monitoreo para medir la calidad de agua con una placa de Arduino Mega 2560 de 54 pines de entrada y salida, en él nos permite usar la mayor cantidad de pines siempre y cuando alguno de ellos falle, sensores de temperatura DS18B20, pH 2.0, turbidez SEN0189, se programó en Arduino con un diseño pequeño, portátil y fácil uso y fácil calibración del equipo. Se muestra imágenes del diseño lógico y del dispositivo resultante.

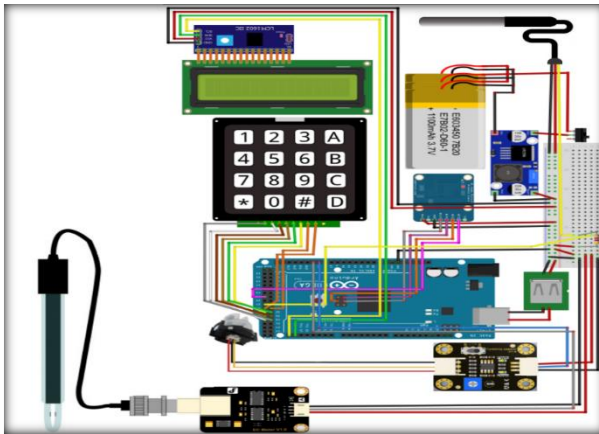


Figura 1. Diseño lógico del dispositivo de monitoreo

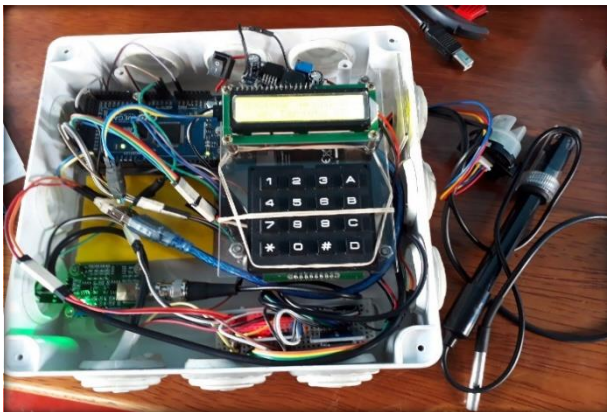
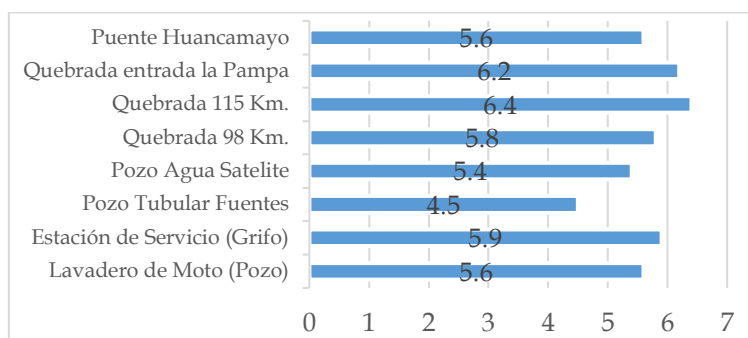


Figura 2. Dispositivo construido



**Figura 3.** Uso del dispositivo

Según las normas de calidad de agua el pH óptimo que debe de tener el agua es de 7.0 pH.



**Figura 4:** "Valor de pH del Agua"

Se tomaron 3 veces 3 muestras de agua en cada punto al azar entre los kilómetros 98 - 115 la pampa, quebradas, pozos tubulares, ojo de aguas, aguajales, etc. Y los resultados fueron los mismos, según normas internacionales de calidad de agua el pH óptimo que debe de tener es 7.0, lo que se aproxima según la muestra que hemos sacado estaría entre las quebradas según coordenadas  $-12^{\circ}.894617$ ,  $-70^{\circ}.0696$  con un pH de 6.2 y según coordenada  $-12.896145$ ,  $-699867$  con un pH de 6.4. Estas muestras nos indican que el agua no es muy ácida ni salada si no es neutro.

La diferencia que se obtuvo del pH del agua fue la contaminación de la población de sus afluentes de agua, tirando desperdicios, basura, quemas, minerales pesados, degradado de la tierra, la población no tenía la educación de conservación de su medio ambiente, se dio una capacitación en las cuales se mostró los resultados obtenidos y se sorprendieron y empezaron a conservar mejor sus afluentes de agua.

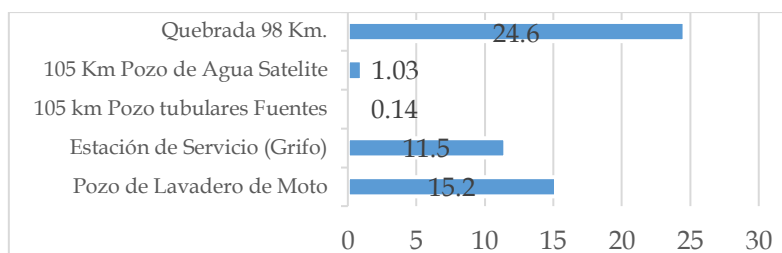
#### **El valor de Turbidez del Agua**

Según la OMS (2011), la turbidez del agua para consumo humano no debe superar en ningún caso las 5 NTU, y estará idealmente por debajo de 1 unidad de turbidez nefelométrica (NTU).

La NTU es la unidad más utilizada cuando se hace referencia al método 180.1 de USEPA o a los métodos estándar para el análisis de aguas y aguas residuales.

Las unidades de turbidez NTU, FTU, FNU y FAU se basan en calibraciones que emplean los mismos estándares primarios de formacina. Por lo tanto, cuando se mide un estándar de formacina, el valor para cada una de estas unidades será el mismo; no obstante, el valor en las muestras puede variar de manera notable.

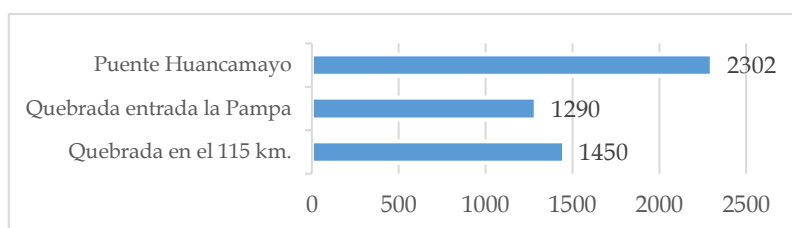
De igual manera las muestras de aguas obtenidas por el equipo investigador mostraron los siguientes resultados:



**Figura 5:** Valor de Turbidez del Agua 1

Los valores según la OMS el valor óptimo estaría entre 0.14 FNU que pertenece al Pozo Tubular Fuentes que se encuentra ubicado en el 105 km. y 1.03 FNU que pertenece al Pozo de Agua Tubular de un satélite de Cervecería que se encuentra en el 105 km. Éstas dos muestras estarían en el nivel para el consumo humano pero su nivel de pH 4.5 y 5.4 que tiene el nivel de pH que de una cerveza y un té.

El nivel de turbidez que se obtuvo varía según la profundidad de donde se extrajo el agua, que a mayor profundidad menor será la turbidez, esto a su vez se ve afectado en el lugar donde se extrae el agua, si se extrae en un lugar degradado por la minería la turbidez de agua será mayor.



**Figura 6:** Valor de Turbidez del Agua 2

En esta tabla superan el nivel de turbidez según la unidad de medida FAU, el cual nos indica que ningún de estas muestras de agua es óptimo para el consumo humano.

**Temperatura del Agua**

La temperatura óptima del agua debe estar entre 20°C y 30°C según OMS, por lo tanto, las muestras obtenidas por el equipo dan lo siguiente:

**Tabla 1:** Valor de Temperatura del Agua

Temperatura del agua		
Valor	Medida	Lugar de la muestra
28.3	°C	Pozo Lav. Moto
28	°C	Est. Serv.
28.9	°C	105 pozo Tubular Fuentes
28.1	°C	105 pozo Agua Satélite
29.1	°C	Quebrada Km98
29.7	°C	Km 115
28.6	°C	Quebrada Entrada Pampa
29.1	°C	Puente Huancamayo

Las muestras de agua que se extrajeron las 3 veces estarían en el rango de la temperatura dentro de la normatividad de salud de calidad de agua.

## 4. Conclusiones

Los resultados muestran que el diseño e implementación de dispositivo de monitoreo que permite medir la calidad de agua en el consumo humano funciona en un 99% con un margen de error de 1%.

Analizamos las muestras en la quebrada del kilómetro 115 y la quebrada entrada a la Pampa son los que tiene el 6.4 y 6.2 pH en el nivel del agua, esto nos hizo asumir que se podría tomar el agua, pero el nivel de turbidez es muy alto que son de 1450 y 1290 FAU, las muestras que se tomaron en la estación de servicio de un grifo de venta de gasolina tiene un pozo de agua tubular, con 5.9 pH, quebrada en el 98 km cuenta con 5.8 pH, el lavadero de moto cuenta con un pozo de agua y su nivel es de 5.6 pH, de igual manera la quebrada del puente Huancamayo cuenta con un 5.6 pH, todas estas muestras de agua tienen un elevado nivel de turbidez y de pH en el agua el cual nos indica que no es apto para el consumo humano según las normas internacionales, además cuenta metales pesados que es causa de la minería ilegal. En el centro poblado llamado La Pampa ubicado en el kilómetro 105 se tomaron muestras de aguas de dos pozos tubulares un Satélite de venta de cerveza y una tienda comercial de abarrotes el resultado arrojó el nivel de pH es de 5.4 y 4.5 pH y el nivel de turbidez es de 1.03 y 0.14 FNU, esta muestra nos dice que, sí se podría beber el agua, y mientras más profundo se adquiera el agua el nivel de turbidez será menor. Los resultados que nos mostró el dispositivo creado en las diferentes muestras de agua nos dio la conclusión que las quebradas, ojos de agua, aguajales, están contaminados con metales pesados, turbidez y un pH ácido, esto debido a que en la zona se practicaba la minería ilegal el cual contamina todos los afluentes de agua y destruye la biodiversidad de la zona.

Diseñamos el dispositivo de monitoreo para medir la calidad de agua con una placa de Arduino, sensores de temperatura, pH, turbidez, y se programó de acuerdo a las necesidades de los investigadores realizando un diseño portátil y fácil uso para cualquier usuario que quiera utilizar el dispositivo.

Implementamos el dispositivo de monitoreo para medir la calidad de agua con sensores de turbidez, temperatura y pH en conjunto con la placa de Arduino en él se programó para obtener los resultados, el instrumento funcionó al 99% con un porcentaje de error del 1% por motivos de calibración del equipo.

## Financiamiento

Ninguno.

## Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

## Contribución de autores

U-G, N. J: Definió y conceptualizó el tema a desarrollar, participó en el diseño metodológico, elaboró y aplicó los instrumentos y realizó la investigación; elaborando el primer borrador del artículo científico. Finalmente, revisó y editó el artículo.

I-P, D. D: Colaboró en el diseño metodológico del trabajo, estableció los indicadores para la elaboración de los instrumentos, realizó el análisis estadístico de los datos recogidos con los instrumentos, participó en la elaboración del primer borrador. Finalmente, revisó y editó el artículo.

C-A, J. A: Apoyó el desarrollo de la investigación y revisó el documento.

C-C, W: Realizó el análisis estadístico de los datos recogidos con los instrumentos.

## Referencias bibliográficas

- Encinas, C., Ruiz, E., Cortez, J., & Espinoza, A. (2017). Design and implementation of a distributed IoT system for the monitoring of water quality in aquaculture. *Wireless Telecommunications Symposium*. <https://doi.org/10.1109/WTS.2017.7943540>
- Esquivel-Ayala, B. D., & Tapia-Cabrera, C. F. (2021). La importancia de la economía del agua. *RD-ICUAP*, 7(21), 78-91. <http://rd.buap.mx/ojs-dm/index.php/rdicuap/article/view/630>
- Indrasari, W., Budi, E., Umiatin, Rizqy Alayya, S., & Ramli, R. (2019). Measurement of water polluted quality based on turbidity, pH, magnetic property, and dissolved solid. In A. S. R. P. D. H. Y. F. P. D. Ramli Khair M. (Ed.), *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1317, Issue 1). Institute of Physics Publishing. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1317/1/012060>
- Martinez, G., McCord, S. A., Driscoll, C. T., Todorova, S., Wu, S., Araújo, J. F., Vega, C. M., & Fernandez, L. E. (2018). Mercury contamination in riverine sediments and fish associated with artisanal and small-scale gold mining in Madre de Dios, Peru. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(8). <https://doi.org/10.3390/ijerph15081584>
- OMS. (2011). Guías para la calidad del agua de consumo humano. *Organización Mundial de La Salud*, 4, 608. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/272403/9789243549958-spa.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- OMS. (2016). *Cada año mueren 12,6 millones de personas a causa de la insalubridad del medio ambiente*. <https://www.who.int/es/news/item/15-03-2016-an-estimated-12-6-million-deaths-each-year-are-attributable-to-unhealthy-environments>
- Pappu, S., Vudatha, P., Niharika, A. V., Karthick, T., & Sankaranarayanan, S. (2017). Intelligent IoT based water quality monitoring system. *International Journal of Applied Engineering Research*, 12(16), 5447-5454. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85047172089&partnerID=40&md5=1f9af305e8dac25697a9488e980966d0>
- Peralta-Mahecha, G., Alarcón-García, S. J., Garzón-Camacho, J. C., Neuta-Niño, D. F., & Rodríguez-Arregocés, N. X. (2021). Desabastecimiento hídrico en el sistema de ciudades de Colombia: ordenamiento ambiental y territorial en el Área Hidrográfica Magdalena-Cauca. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 30(2), 459-480. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v30n2.88753>
- SPDA. (2019). *Minería ilegal en Madre de Dios: Operación Mercurio 2019, el baile de los que faltan | SPDA Actualidad Ambiental*. <https://www.actualidadambiental.pe/mineria-ilegal-en-madre-de-dios-operacion-mercurio-2019-el-baile-de-los-que-faltan/>