

Medición in situ de cualidades del agua para diseño de dispositivo

In situ measurement of water qualities for a device design

María Flor Stella Monroy González¹
Semillero de Investigación Ser Agua²

Resumen

Medir las cualidades del agua in situ, facilita hacer precisiones sobre la potabilidad de una muestra en lugares de difícil acceso, para mejorar la exactitud de la información en las pruebas de laboratorio, determinando las condiciones fisicoquímicas mínimas que requiere una muestra de agua para ser empleada en las actividades humanas. El sistema consta de unos protocolos de toma de muestras in situ y del manejo de un dispositivo medidor desarrollado mediante proyecto de investigación con los estudiantes del semillero de investigación SER-AGUA del programa de Ingeniería mecatrónica de la ETITC, se parte de dispositivos existentes en el mercado, para observar su funcionamiento con el fin crear un dispositivo mediante ingeniería inversa que sea de bajo costo, fácil manejo, transporte y que permita unificar las variables en un solo dispositivo.

Palabras clave: *Dispositivo, in situ, medición,*

Abstract

The measuring of the quality of water in situ facilitates to make accurately measurements on a sample of the potability of the water in hard-to-access areas to improve the accuracy of information in laboratory tests, determining the minimum physicochemical conditions required by a sample of water to be used in human activities. The system consists of some sampling protocols in situ and the management of a measuring device developed by a research project along with the students of the seedbed research project SER-AGUA of the Mechatronics Engineering professional program at ETITC. The research departs from existent devices in the market, to observe its operation in order to create a device through reverse engineering at a low cost, easy to handle, transport and that allows unifying the variables in a single device.

Key Word: *Device, in situ, measurement*

1 Ingeniera Química. Especialización en Docencia Universitaria. Docente Escuela Tecnológica Instituto Técnico Central, Bogotá, Colombia. stellamon1961@gmail.com. mstella@itc.edu.co

2 Semillero de investigación en Energías Renovables: Jinna Paola Virgüez Muñoz. jinnavirgues@gmail.com, Jhon Jairo Martínez Simbaqueba. john.martinez194@cide.edu.co, Nicoll Dhayana Santamaria Botero. nicolldhayana@hotmail.com, Cristitan David Pardo Prieto. pardoprietoc@yahoo.com, Ana Katerine Prieto Saenz. saenzprieto@gmail.com, Edgar Junco Smith. edarjism@gmail.com, Daniel Munevar. danielmunevar23@gmail.com, Brian Alejandro Corredor Leon. briancorredorleon@gmail.com

1. Introducción

Este trabajo se inició como una propuesta del semillero de investigación SER-AGUA de la Escuela Tecnológica Instituto Técnico Central a una problemática que se presentaba con una investigación preliminar acerca de la potabilización del agua obtenida por condensación del aire para la Guajira y San Andrés. La problemática consistía en que una vez obtenidas las pruebas de agua por condensación del aire en esos lugares geográficos, las muestras debían ser transportadas a Bogotá para realizar los respectivos análisis físicoquímicos y bacteriológicos que permitieran determinar la posibilidad de utilizar el agua obtenida por éste método en actividades humanas. Una vez llevadas las muestras a analizar, los laboratorios de análisis solicitaban que se cumpliera con las mínimas normas exigidas para el análisis de agua, que consistían en realizar la tomas de las variables físicoquímicas mínimas in situ como Ph, TDS, conductividad y temperatura, para evitar su alteración con el tiempo de transporte.

En vista de ello, el semillero se dio a la tarea de investigar y encontró que la Organización Mundial de la Salud, en el documento “Guías para la calidad del agua potable”, establece que en mayor o menor medida, el hecho de tomar una muestra y retirarla de su entorno natural la modifica inevitablemente, en función de los parámetros que la afectan. Algunos de ellos pueden considerarse estables en la escala de tiempo en el que trabajamos, pero otros cambian muy rápidamente como temperatura, conductividad, pH, gases disueltos, nitratos, sulfatos, arsénico y minerales tóxicos. (Organización Mundial de la Salud OMS, 2006)

La temperatura, pH, conductividad, alcalinidad, cloro libre residual y oxígeno disuelto deben medirse sistemáticamente in situ. Si se requiere una compleja preparación de la muestra para el transporte hasta el laboratorio para ciertos análisis químicos (por ejemplo, para As, metales, minerales tóxicos y oligoelementos), es aconsejable que

estos análisis se lleven a cabo in situ, para evitar las complicaciones. Los análisis deben realizarse lo antes posible, antes de 72 horas desde la toma de muestras. (ACF Internacional, 2011).

Por tanto el semillero que tenía la responsabilidad de potabilizar el agua obtenida por condensación del aire, se dio a la tarea de cotizar un dispositivo que midiera las variables físicoquímicas mínimas para realizar las evaluaciones in situ y se encontró que los dispositivos de medición existentes en el mercado tenían costos muy elevados pero, que su diseño no implicaba un conocimiento superior al que ellos tenían como estudiantes de ingeniería mecatrónica. Fue así como se decidió adquirir unos dispositivos de medición de Ph, de conductancia y de temperatura para realizar las pruebas anteriormente mencionadas.

2. Metodología

La metodología seguida pasó por 4 fases. En la primera, referida a estudios exploratorios se consultó sobre la normatividad tanto internacional como nacional referida al control de calidad del agua y a su importancia en las actividades humanas, se estudiaron las variables a controlar en los dispositivos de medición y se realiza salida técnica a una reserva forestal para aprender el manejo tanto de los dispositivos como de la lectura de las variables a analizar. En la fase 2 referida a investigación básica, se diseña un prototipo que tenga la capacidad de medir las variables que permitan determinar si el agua es apta para el consumo humano y el diseño de circuitos de cada una de las variables a trabajar. En la fase 3 de investigación aplicada, se realiza práctica de laboratorio para aprender el manejo de las variables a medir y comprobar los prediseños elaborados, se inicia la construcción de un prototipo que tenga la capacidad de medir las cualidades del agua, se elaboran los protocolos con el respectivo desarrollo de cada uno de los circuitos que serán usados en el prototipo y se realizan tablas con resultados que expliquen paso a paso los avances en el desarrollo

del prototipo. En la fase 4 que está en proceso, y que es la referida a la investigación experimental, se realizaran pruebas con varios tipos de agua, tanto con los dispositivos comerciales como con los prototipos diseñados y construidos por el semillero para verificar su precisión por comparación, para luego definir el sistema de calibración; se elaboran tablas con los datos obtenidos a la hora de realizar pruebas con los diferentes tipos de agua.

3. Fase 1 estudios exploratorios

Calidad del agua

La calidad del agua se define no sólo por sus parámetros físicos, químicos y biológicos, sino también por la naturaleza de su origen, el sistema de abastecimiento empleado y su uso final. Los estándares de calidad del agua dependerán del uso al que vaya a destinarse: consumo humano (para beber, cocinar e higiene personal y doméstica), producción de alimentos (agricultura y ganadería), industria o medio ambiente. Sin embargo, en los programas humanitarios, los indicadores de calidad del agua para consumo humano son los más importantes debido a sus implicaciones en la salud. (ACF Internacional, 2011).

Dispositivos de medición y variables fisicoquímicas

Se seleccionan como variables fisicoquímicas mínimas in situ de la calidad del agua, a: pH, sólidos totales (TDS), la conductividad y la temperatura (Instituto Nacional de Salud, 2011) ya que se pueden determinar y confrontar por análisis cuantitativos en el laboratorio de química general.

PH

El pH es el valor que determina si una sustancia es ácida, neutra o básica, calculando el número de iones de hidrógeno presentes. Se mide en una escala a partir de 0 a 14, en la cual en el medio, es decir 7 la sustancia es neutra. Los valores de pH por debajo de 7 indican que una sustancia es

ácida y los valores de pH por encima de 7 indican que es básica.

El nivel de pH tiene un efecto en muchas fases del proceso de tratamiento de las aguas y afecta a la formación de costras de las fuentes de agua. El nivel de pH se puede determinar con varios métodos de análisis, tales como indicadores del color, pH-papel o pH-metros. Según la resolución 2115 de 2007 en Colombia el valor de potencial de hidrógeno del agua para consumo humano, deberá estar comprendido entre 6.5 y 9.0

Sólidos totales disueltos

Los sólidos totales (STD) son la suma de todos los sólidos disueltos y suspendidos en el agua. Cuando el agua se analiza para los STD se seca la muestra y el residuo se pesa después. STD pueden ser tanto las sustancias orgánicas como inorgánicas, los microorganismos y partículas más grandes como la arena y arcilla. El valor de TDS para un agua potables debe ser inferior a 500ppm.

Conductividad

La conductividad significa la conducción de la energía por los iones. La medida de la conductividad puede proporcionar una visión clara de la concentración de iones en el agua, pues ella es naturalmente resistente a la conducción de la energía. La conducción se expresa en Siemens y se mide con un conductímetro o una célula. (Lenntech, 2015)

Según la resolución 2115 de 2007 en Colombia, el valor máximo aceptable para la conductividad puede ser hasta 1000 microSiemens/cm. Este valor podrá ajustarse según los promedios habituales y el mapa promedio de riesgo de la zona. Un incremento de los valores habituales de la actividad superior al 50% en el agua de la fuente, indica un cambio sospechoso en la cantidad de sólidos disueltos y su procedencia debe ser investigada de inmediato por las autoridades sanitaria y ambiental competente.

Temperatura

Expresa el grado de calor del agua. Existen relaciones entre temperatura, conductividad y pH del agua. La temperatura de un agua potable debe estar entre 10 y 22 °C, fuera de este rango de temperatura, el líquido puede ocasionar problemas gastrointestinales



Figura 1 medición de PH



Figura 2 Medición de TDS



Figura 3 Disposición de Muestras

Fuente: Semillero SER-AGUA. 2016 Toma de mediciones de agua in situ en el parque Entre Nubes, Bogotá, Colombia

Fase 2. Investigación básica

Diseño de un prototipo que tenga la capacidad de medir las variables fisicoquímicas mínimas que permitan decir si el agua es apta para el consumo humano.

Diseño de circuitos de cada una de las variables fisicoquímicas seleccionadas.

Protocolo 1 : Diseño de circuito con sensor LM 35, el cual puede medir la temperatura del agua

- Efectuar la programación en el software de micro PRO FOR PC
- Diseñar el circuito en el programa de proteus

Primera Salida técnica

La salida se realiza al parque Entre Nubes, los estudiantes del semillero aprenden a manejar los dispositivos de medición y a realizar la lectura de las variables fisicoquímica pH, conductividad, TDS y temperatura, y se toman muestras de agua para su posterior análisis en laboratorio, esto se observa en las figuras 1,2,3.

- Enlazar la programación en el diseño del circuito hecho en proteus

Protocolo 2: Diseñar un circuito que tenga como función la conductividad.

- Se procede a colocar en serie las resistencias de 10K Ω y 100K Ω
- En los extremos de las resistencias se conectan las pinzas, un extremo para cada cable, es decir positivo y negativo
- Se conecta la placa Arduino al circuito por medio de un jumper al nodo en común de las resistencias

- Conectar la tierra con la parte negativa del medidor
- Los puertos de la placa de arduino que se utilizan son: (A0) para la señal y GND para la tierra de las resistencias

Protocolo 3: Diseño de un circuito de medición de Ph

Diagrama esquemático del medidor de pH

El diagrama esquemático simple del circuito medidor de pH, dos baterías de 9 voltios de potencia, un amplificador operacional de alta impedancia de entrada, como un TL082. La sonda de pH del medidor está conectado a la entrada no inversora. La tensión de salida (V out), que es directamente proporcional al pH, se lee con un voltímetro. Esto se puede observar en la figura 4

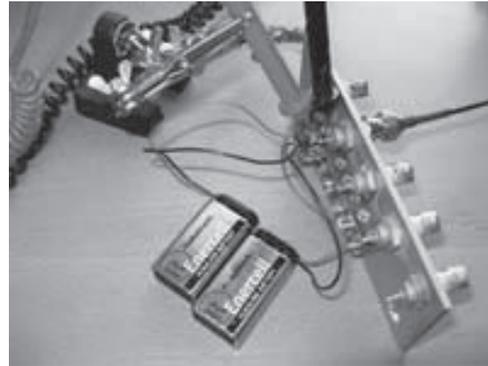


Figura 4 Medidor de PH

Fuente: Semillero SER-AGUA 2016, Bogotá, Colombia

Representación gráfica de los resultados

La figura 5 muestra un gráfico del pH y la tensión en la calibración de la configuración que se describe aquí.

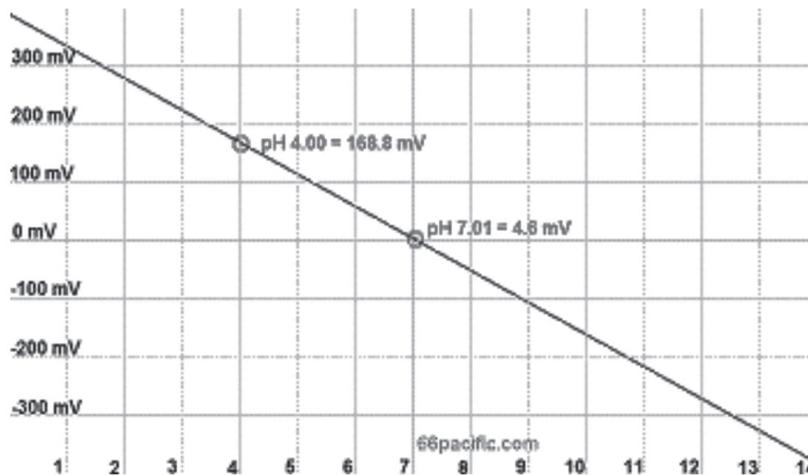


Figura 5 Grafico de Ph y tensión

Fuente: http://www.66pacific.com/ph/images/ph_cal_chart_thumb.GIF

PH Circuito para Arduino

Para conectar una sonda de pH directamente a Arduino, se requiere de una sonda de pH, soluciones de calibración, y el circuito de pH-Stamp. El pH-Stamp, es un completo sistema de monitoreo de pH que le permite controlar con precisión pH sin tener que añadir ningún circui-

to o componentes adicionales para su diseño. La comunicación con el pH-Stamp se hace con 11 órdenes sencillas. Proporciona lecturas de grado científico a cualquier sistema embebido que tiene una interfaz de conexión RS232 (oscilación de voltaje 0-VCC, no +/- 12 voltios). (Descubre arduino. com, 2016)

Fase 3. Investigación aplicada

- Práctica de laboratorio para aprender el manejo conceptual de las variables seleccionadas, probar los dispositivos adquiridos por la Escuela para la investigación y probar los diseños realizados por el semillero.



Figura 6 Práctica de laboratorio de Análisis fisicoquímico de variables de medición in situ de la calidad del agua

Fuente: Semillero SER-AGUA 2016, Bogotá, Colombia

Prueba de los diseños construidos en el laboratorio de química, mostrados en las figuras 7, 8, 9, 10

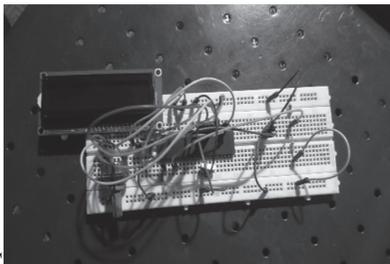


Figura 7. Construcción de prototipo de medición de conductividad



Figura 8 prueba de prototipo construido

Fuente: Semillero SER-AGUA 2016, Bogotá, Colombia

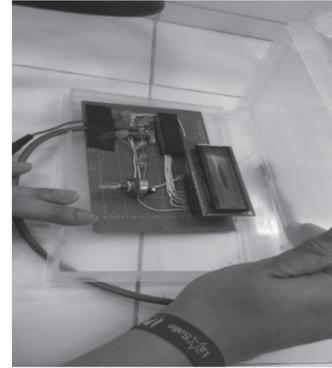


Figura 9. Rediseño de prototipo construido

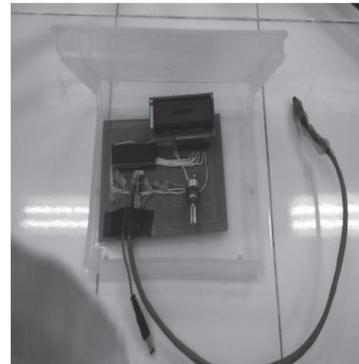


Figura 10. Ensamblaje de prototipo construido

Fuente: Semillero SER-AGUA 2016, Bogotá, Colombia

- Elaboración de protocolos con el respectivo desarrollo de cada uno de los circuitos que serán usados en el prototipo
- Realización de tablas con el resultado que expliquen paso a paso los avances que se tienen al desarrollar el prototipo.

Protocolos y presentación de resultados

Es fundamental guardar y archivar los resultados de los análisis (principalmente si se ha identificado algún riesgo sanitario). Normalmente, se recomienda una hoja para cada lugar analizado. (Instituto Nacional de Salud, 2011)

La información que debe contener incluye:

- Localización general (más datos GPS).

- Fecha de la muestra/análisis.
- Tipo de lugar (río, sondeo, pozo, balsa).
- La persona que realiza la muestra/análisis.
- La tabla completa del análisis.
- Comentarios acerca de la calidad del agua y del lugar.

La tabla completa de análisis contiene tres columnas (se toman tres muestras en cada lugar, esto que es la rutina para los análisis bacteriológicos, debería hacerse extensivo para el análisis de los demás elementos). Los resultados se dan como la media de las tres muestras, el valor máximo y la desviación estándar observada. Si las tres muestras no dan un resultado razonablemente homogéneo, se debe realizar de nuevo el análisis completo (con muestras nuevas), porque la dispersión de resultados se debe probablemente a que las muestras no son representativas o a un error durante el análisis. Es buena práctica registrar y guardar las membranas de filtración en un archivo (en el caso de análisis bacteriológico), para recuperarlos si es necesario comprobar resultados sospechosos.

Fase 4. Investigación experimental

Segunda Salida Técnica

La segunda salida técnica del grupo de investigación GEA y del semillero de investigación SER-AGUA se realizó a la península de La Guajira, allí se probaron todos los equipos que forman parte de la investigación sobre producción de agua a partir de la condensación del agua contenida en el aire. El semillero realizó mediciones in situ de todas las fuentes posibles de suministro de agua para los habitantes de la región como fueron:

1. Agua proveniente de Uribia y transportada en carrotanque empleada para el aseo personal, la cual es almacenada en tanques de cemento a cielo abierto donde es fácilmente conta-

minada por el polvo, la arena, y todo tipo de mugre y de insectos que lleva el viento, tiene un valor de PH de 8.67 medido con sonda de PH y un PH 9.43 medido con dispositivo comercial, TDS: 699ppm y conductancia 1398 milivoltios, datos que se observan en las figura 11, 12,13 y 14



Figura 11. Almacenamiento del Agua llevada desde Uribia



Figura 12 Medición de Ph con sonda de PH del agua almacenada

Fuente: Corredor B, Cabo de la Vela, Colombia



Figura 13. Valor de los TDS medido en el agua de la red de acueducto del cabo de la Vela



Figura 14. Valor de Ph medido en el agua de la red de acueducto del cabo de la Vela con dispositivo comercial

Fuente: Corredor B, Cabo de la Vela, Colombia

2. Agua proveniente del acueducto municipal y llevada a través de tubería residencial empleada para consumo doméstico: el Ph tomado con la sonda de Ph da un valor de 7.66 y con el dispositivo comercial un valor de 9.36, el TDS un valor de 695 ppm para una conductividad de 1390 milivoltios, esto se observa en las figuras 15, 16 y 17



Figura 15. Ph medido con sonda de ph en el agua proveniente de la tubería residencial



Figura 16. Ph medido con dispositivo comercial en el agua proveniente de la tubería residencial



Figura 17. TDS medido dispositivo comercial en el agua proveniente de la tubería residencial

Fuente: Corredor B, Cabo de la Vela, Colombia

3. Agua de mar empleada para lavado y aseo de pisos y baños: su Ph es 6.64, en el phmetro de sonda de Ph y el phmetro comercial es de 7.67, evidenciándose diferencia significativa en los valores de medición de un equipo a otro; el TDS es de 576 ppm y la conductancia de 1152 milivoltios, esto se observa en las figuras 18, 19 y 20

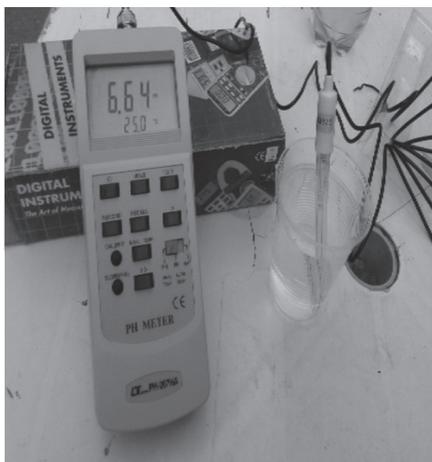


Figura 18. Ph de agua de mar, medida con sonda de pH



Figura 19. Ph con agua de mar, medida con dispositivo Comercial



Figura 20. TDS de agua de mar

Fuente: Corredor B, Cabo de la Vela, Colombia

De acuerdo con los resultados de las mediciones fisicoquímicas in situ del agua, los valores tomados en todas las fuentes de agua superan los valores límites permisibles por el decreto 2115 para agua potable. Igualmente se observa inexactitud en la información suministrada por dos dispositivos diferentes para medir la misma variable, indicando esto que es probable que los dispositivos comerciales no manejen precisión y la sonda de ph que si maneja alta precisión tiene un costo demasiado elevado. Debido a ello es que se decidió en el semillero de investigación SER-AGUA diseñar y construir un dispositivo que permita medir las variables fisicoquímicas in situ por mayor precisión y exactitud que un dispositivo comercial pero a un menor costo que uno de alta precisión

4. Resultados esperados

Se elige, para el diseño del dispositivo de medición de cualidades del agua, el controlador Arduino mega, debido a que la cantidad de entradas análogas y salidas digitales que posee, permite integrar el diseño, en una sola placa, de todas las variables de control del agua. Además, la sonda que permite medir la cualidad del pH del agua, posee un adaptador compatible con la referencia de este Arduino, cosa que no posee el controlador PIC18F4550. Además, el Arduino Mega,

permite una mayor facilidad a la hora de la construcción del dispositivo, ya que no necesita la conexión de elementos extra (en comparación del PIC18F4550) tales como el cristal generador de señal, condensadores, potenciómetro y resistencias, que puedan ocasionar problemas a la hora de soldarlos. (Descubre arduino.com, 2016)

Para la parte del diseño de la variable de temperatura del agua, se usa la placa de Arduino (Arduino UNO para las pruebas iniciales y Arduino Mega para la construcción del dispositivo), un sensor de temperatura LM35, una pantalla LDC 16x2 (16 columnas y 2 filas), un potenciómetro que regulará el contraste de la pantalla, una protoboard y cable para las conexiones.

5. Conclusiones

Medir las variables fisicoquímicas del agua in situ como parámetro mínimo para garantizar la calidad del agua para regiones apartadas de Colombia es un aporte significativo a los laboratorios de análisis del agua ya que éstas variables cambian con el tiempo de reposo durante el transporte de las muestras, sin embargo ésta no es garantía de que el agua por si misma sea potable ya que su calidad depende de las condiciones atmosféricas, ambientales y de salubridad de la región donde se toman las pruebas.

El diseño de un equipo portátil, de bajo costo y preciso, puede contribuir con los estamentos gu-

bernamentales para enseñar a la población a que se responsabilice de las condiciones mínimas de salubridad que debe tener el agua empleada para actividades humanas, en las comunidades que se están interviniendo.

6. Referencias Bibliográficas

ACF Internacional. (2011). *Agua, saneamiento e higiene para las poblaciones en riesgo*. Arís: Hermann.

Instituto Nacional de Salud. (2011). *Manual de instrucciones para la toma, preservación y transporte de muestras de agua de consumo humano para análisis de laboratorio*. Bogotá: Imprenta Nacional.

Lenntech. (05 de 10 de 2015). www.lenntech.es. Obtenido de <http://www.lenntech.es/la-evaluacion-de-la-calidad-agua-faq-calidad-agua>

Organización Mundial de la Salud OMS. (2006). *Guías para la calidad del agua potable*. Ginebra, Suiza: OMS.

Resolución 2115 de 22 de junio de 2007. (02 de 10 de 2015). MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL. Obtenido de <http://www.ins.gov.co/tramites-y-servicios/programas-de-calidad/Documents/resolucion%202115%20de%202007,MPS-MAVDT.pdf>

