

BIOSENSOR EXPRÉS PARA AGUA POTABLE

**Sensor-Exprés para
determinar la Calidad del
Agua Potable**

Dr. Eugenio Gómez Reyes

Departamento de Ingeniería de Procesos e Hidráulica,
Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa

Ing. Donaciano Jiménez Vázquez

Departamento de Ingeniería Eléctrica,
Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa

Dr. Nikola Batina Skeledzija

Departamento de Química,
Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa

Dr. Antonio Rodrigo Abad Sánchez

Departamento de Procesos y Técnicas de Realización
Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco

Dr. Roberto Martín Constantino Toto

Departamento de Producción Económica,
Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco

Dra. Elia Velázquez Mejía

Departamento de Biotecnología,
Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa

**Tu agua,
siempre segura**

Abstract

A device that assess the quality of drinking water is shown. Such device measures the quality parameters that determine the physical (turbidity), chemical (conductivity), bacteriological (fecal coliform) and satisfaction (temperature and pH) condition of drinking water. The instrument can be used by families since it is easy to use, has an immediate response, has a low cost and allows you to know if the water being measured falls within the norm and therefore can be drunk. It stores in memory the date and time of the measurement, as well as the measured water quality parameters and results are compared with the standard. The stored information is transferred by activating a cell phone application, first, to the cell phone itself with the Android system and then it is retransmitted along with the cell phone's GPS position to a server. The user can additionally consult the information with their cell phone application to know the water quality conditions in their location. The device is compact and portable (approximately the size of a cell phone) and is the only probe that measures known drinking water quality parameters of that size and with instantaneous response (1 to 3 seconds), including for the detection of fecal coliforms.

Keywords: Drinking water, water quality, measuring device, pollution indicator, detection of *Escherichia coli*.

Resumen

Se presenta un dispositivo para tener certeza en la calidad del agua potable que se bebe. Este aparato mide los parámetros de calidad que determinan la condición física (turbidez), química (conductividad), bacteriológica (coliformes fecales) y de satisfacción

(temperatura y pH) del agua potable. El instrumento puede ser utilizado por las familias ya que es de fácil uso, de respuesta inmediata, tiene bajo costo y permite saber si el agua que se mide cae dentro de la norma y por tanto se puede beber. Almacena en la memoria la fecha y hora de la medición, así como los parámetros de calidad del agua medidos y el resultado de la comparación con la norma. La información almacenada es transferida mediante la activación de una aplicación de celular, primero, al celular mismo con sistema Android y luego se retransmite junto con la posición GPS del celular a un servidor. El usuario puede, adicionalmente, consultar la información con su aplicación de celular para conocer las condiciones de calidad del agua de su localidad. El dispositivo es compacto y portátil (del tamaño aproximado de un celular) y es la única sonda que mide parámetros de calidad del agua potable conocida de ese tamaño y de respuesta instantánea (1 a 3 segundos), inclusive para la detección de coliformes fecales.

Palabras clave: Drinking water, water quality, measuring device, pollution indicator, detection of *Escherichia coli*.

1. ¿Cómo sabes que el agua que bebes es potable?

Generalmente, el agua que bebemos es embotellada o de la llave (Figura 1), pero después de haberla pasado por un filtro y/o hervirla.

El agua embotellada consideramos, pero no tenemos certeza de ello, que es agua potable porque ha pasado por procesos de potabilización y que cumple con la norma de calidad del agua potable DOF (2022). Hoy en día, en el mercado hay una variedad inmensa de marcas de agua embotellada que es difícil dar

seguimiento al cumplimiento de la calidad del agua para ser potable, de hecho, nunca le damos seguimiento a ello, solo suponemos que es agua potable de buena calidad, mejor que el agua de llave.



Figura 1: Agua potable para consumo humano.

En principio, el agua de la llave suministrada por los organismos operadores de agua potable, debe ser potable y por tanto debemos de tener confianza para beberla. En efecto, el agua servida mediante la red de agua potable es potable CONAGUA (2018), DOF (2022). Sin embargo, cuando queremos beberla, generalmente la tomamos de agua de la llave de la cocina y es entonces que la garantía de potabilidad se pierde porque generalmente no contamos con suministro de 24 horas continuas y tenemos que acudir a tanques de almacenamiento como tinacos, más aún, si la presión de bombeo por la red no es lo suficiente como para elevar el agua hasta la cocina, entonces, además tenemos que contar con cisternas. En estos depósitos domésticos de almacenamiento de agua potable (tinacos y cisternas), perdemos la garantía de la potabilidad, toda vez que nosotros mismos no tenemos la cultura de dar mantenimiento a estos depósitos para conservarlos libres de contaminación, principalmente bacteriana. ¿Cuál fue la última vez que lavaste tu tinaco? ¿Cuándo lavas tu tinaco, también lo desinfectas? Los filtros domésticos (adheridos a la llave de la cocina) generalmente limpian el agua de impurezas inorgánicas, pero las bacterias pasan libres del filtrado, sobre todo aquellas que no se adhieren a los sólidos en suspensión. Para eliminar las bacterias, se requiere desinfectar el agua, ya sea con temperatura (hervir) o clorarla. En el proceso

de cloración se debe de controlar la concentración de este elemento puesto que forman subproductos que pueden ser potencialmente carcinogénicos, específicamente compuestos orgánico como los trihalometanos.

Es decir, tenemos más incertidumbre que certeza que el agua potable que bebemos es de buena calidad. Tal vez, podemos decir que es de buena calidad porque no tenemos enfermedades gastrointestinales frecuentes Figura 2.

Cuando tenemos estas enfermedades, aludimos más al tipo de alimento consumido que al agua bebible. Sin embargo, para la preparación de los alimentos se supone que se utiliza agua potable, sino es el caso o no se tiene certeza de la potabilidad del agua usada para la preparación de alimentos y lavado de utensilios de cocina, la transmisión micobacteriana se hace mediante el uso del agua Lara & García (2019), Figura 2.

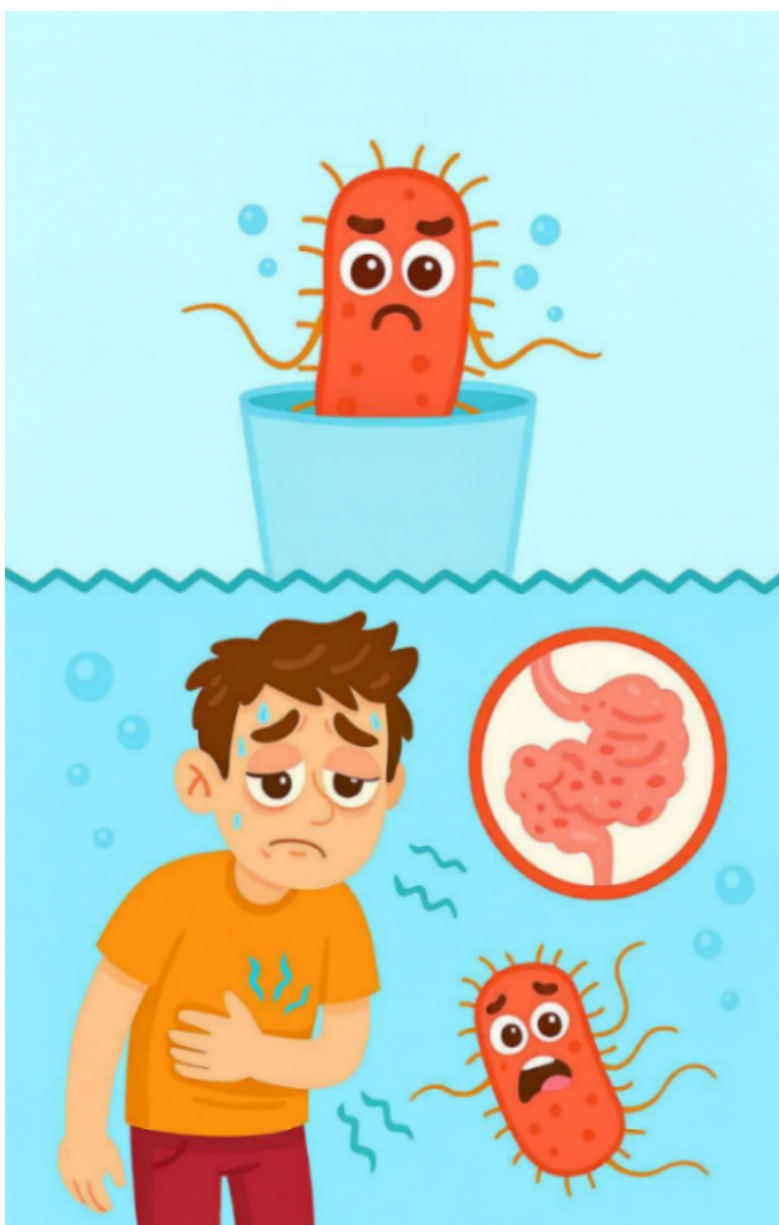


Figura 2: Transmisión de bacterias a través del agua.

2. ¿Cómo puedo medir calidad del agua potable?

Para generar confianza en la calidad del agua potable para beberla, tendríamos que recurrir a realizar análisis químicos y bacteriológicos del agua, lo cual resulta caro y tardado, por lo que no es habitual hacerlo. En caso de proceder de esta manera, sería necesario hacer los análisis del agua de manera rutinaria porque la calidad del agua varía y en todo caso, algunos análisis, especialmente los bacteriológicos, requieren de hasta 48 horas para tener resultados (Es decir, para cuando se detecte la presencia de microorganismos patógenos en el agua potable, será demasiado tarde porque 2 días después, los síntomas de salud ya estarían presentes Lara & García (2019); Velázquez (2024).

Otra alternativa con capacidad de realizar mediciones de la calidad del agua *in-situ* y de respuesta inmediata, son las sondas de medición de parámetros de calidad del agua. Sin embargo, las sondas comerciales que existen para el monitoreo en cuerpos

de agua superficiales y subterráneos son extremadamente costosas para los usuarios domésticos, su tamaño y operación no permite su uso en los hogares. Por otra parte, no existen este tipo de sondas que sean compactas como para instalarlas o aplicarlas en sistemas de distribución, recolección y tratamiento de las aguas.

Existen en el mercado dispositivos compactos y portátiles que miden parámetros de calidad del agua de forma inmediata, excepto por la detección de bacterias. Sin embargo, estos dispositivos sólo cuentan por lo general con un sensor para medir un solo parámetro, si acaso también con sensor de temperatura para tener información de corrección de la medición Figura 3. Por lo que se tendría que adquirir varios de estos dispositivos, uno para cada parámetro de medición. Además de lo caro también esta alternativa, limitaría su aplicación rutinaria de las tantas mediciones que se tendría que realizar en un sitio de muestreo.

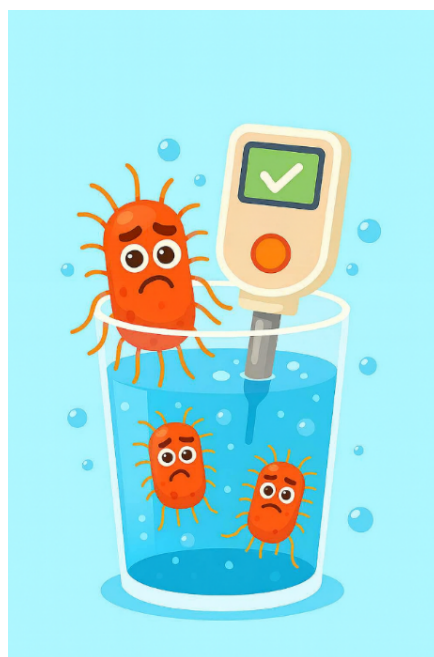


Figura 3: Dispositivos compactos y portátiles.

No existe en el estado de la técnica una alternativa para generar certeza en la calidad del agua potable para beberla que tenga la capacidad de realizar mediciones de su calidad identificando la presencia de *E. coli in-situ* y que proporcione una respuesta en cuestión de segundos (tiempo real). El dispositivo que se describe aquí (Figura. 4) permite dar certeza de manera fácil, rápida y económica sobre la calidad del agua que se consume. Toda vez que se ha parametrizado con los niveles de normalización del agua considerada potable y segura para el consumo humano. Es decir, la calidad del agua potable se establece según los límites permitidos para

algunos parámetros en la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021, *Salud Ambiental, Agua para Uso y Consumo Humano-Límites Permisibles de Calidad y Tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización*. Esta invención es el resultado del trabajo de investigación multidisciplinario de profesores de la UAM (Universidad Autónoma Metropolitana), donde ha participado personal de las disciplinas en Hidrología, Ingeniería Civil, Nanotecnología, Biotecnología, Geomática, Electrónica, Diseño Industrial, Economía y Sociología Gómez-Reyes *et al.*, 2021, Velázquez (2024).



Figura 4: Dispositivo de medición de la calidad del agua potable.

El dispositivo inventado se utiliza para medir la condición de la calidad de agua que se consume en los hogares toda vez que los sensores que utiliza están miniaturizados y el tamaño del dispositivo no es más grande que un celular; este dispositivo es, por tanto, compacto. Consta solo de un botón de encendido y de un led que si enciende de color verde indica que el agua en medición puede ser bebible toda vez que está libre de coliformes fecales (*E. coli*) y cumple con las condiciones de normatividad de conductividad, turbidez y de pH; de lo contrario se enciende el led en color rojo. Dada estas características del dispositivo, resulta práctico y económico medir la calidad del agua en los hogares en cualquier momento que se requiere, *i.e.*, la condición de la calidad del agua potable puede ser conocida de manera rutinaria e impactará en el cambio de hábito de las personas, sino de consumir agua potable de la llave, a lo menos en conocer la calidad del agua que se está bebiendo Velázquez (2024).

Si bien, la calidad del agua potable es determinada con el análisis de más de 70 componentes disueltas y/o suspendidas en el agua, los parámetros fuera de norma que el dispositivo mide, deben interpretarse como indicar del deterioro de la calidad del agua y que requiere atención y de un análisis más en detalle. Es decir, el dispositivo de medición de la calidad del agua potable es un primer diagnóstico de aviso de la calidad del agua. Por cierto, SACMEX /Sistema de Aguas de la Ciudad de México) ha utilizado esta misma estrategia de medir parámetros representativos de la calidad del agua potable, para darse una primera idea de la potabilidad del agua. En este caso, los parámetros utilizados por SACMEX son los mismos que el dispositivo mide Gómez-Reyes *et*

al., 2021, excepto por el cloro residual (indicación de la desinfección). En nuestro caso es una medida directa de la presencia de coliformes fecales a través de la detección de *E. coli* indicando un posible problema de desinfección.

El tamaño y la portabilidad del dispositivo, aunado al hecho de que emplea baterías recargables, permite que las mediciones que se puedan llevar a cabo identifiquen la calidad del agua suministrada a través del servicio público de distribución de agua potable; incluyendo, las llaves de suministro dentro del hogar. Es decir, no solo sirve para saber si podemos beber el agua de la llave, sino que también para detectar donde pierde calidad de potable el agua si es que no las están sirviendo en los domicilios con esa calidad. Dada su utilidad, el dispositivo puede emplearse como un detector de la calidad del agua en los hogares y de aquella que estamos a punto de beber.

3. ¿Cómo funciona el indicador de la calidad del agua potable para uso doméstico?

El dispositivo inspecciona la calidad del agua potable, a través de sensores que miden los parámetros de calidad que determinan la condición física (turbidez), química (conductividad), bacteriológica (coliformes fecales) y de satisfacción (temperatura y pH) del agua potable que se bebe. Este instrumento consiste en un sistema central de procesamiento (microcontrolador) que, a partir de una muestra de agua, mide la temperatura, el pH, la conductividad eléctrica, la turbidez y la presencia de bacterias patógenas (*E. coli*). Con estos parámetros, el microcontrolador compara con el rango de concentración permitido en la norma de agua potable para avisar al usuario, por medio de un led de color verde, si el agua que se

está midiendo cae dentro de la norma y por tanto se puede beber, o de lo contrario con el led es de color rojo. También, almacena en memoria la fecha y hora de la medición, así como los parámetros de calidad del agua medidos y el resultado de la comparación con la norma. La información almacenada es recuperada por medio de un protocolo de comunicación (vía Bluetooth) que permite al dispositivo transferir los

datos mediante la activación de una aplicación de celular, primero, al celular mismo con sistema Android y luego se retransmite junto con la posición GPS del celular a un servidor (Figura. 5). El usuario puede, adicionalmente, consultar la información con su aplicación de celular para conocer las condiciones de calidad del agua de su localidad Rodríguez *et al.*, 2027.

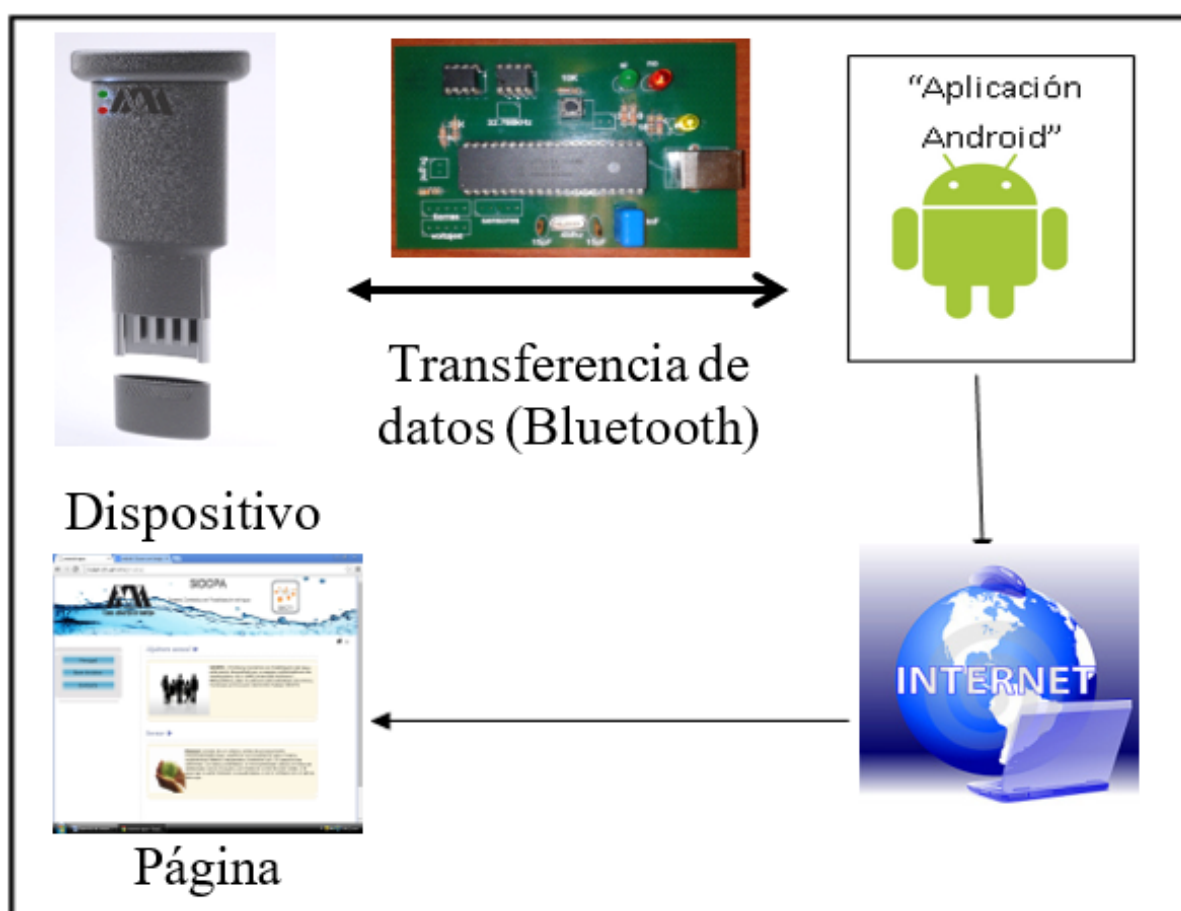


Figura 5: Funcionamiento del dispositivo de medición de la calidad del agua potable.

El dispositivo es compacto y portátil (del tamaño aproximado de un celular) y es la única sonda que mide parámetros de calidad del agua potable conocida de ese tamaño y de respuesta instantánea (1 a 3 segundos), inclusive para la detección de coliformes fecales que las respuestas de los dispositivos más avanzados a la fecha

son de 4 a 8 horas Velázquez (2024).

El dispositivo cuenta con un componente de Bluetooth integrado en su circuito electrónico que le permite transferir los datos medidos. El Bluetooth constituye un elemento del protocolo de comunicación del dispositivo. Los demás

elementos son externos al dispositivo, v.gr., aplicación Android de celular que recibe los datos transmitidos del dispositivo y los transfiere a una base de datos disponibles al servidor de cómputo, en donde son procesados y desplegados a través de un sistema de información geográfico para la consulta del público en una página

web; la consulta de la información también es posible realizarla a través de la aplicación del celular que liga la dirección del servidor para despliegue de datos inmediatamente después de transmitir los datos recibidos del dispositivo (Figura. 5) Gómez-Reyes *et al.*, 2021.

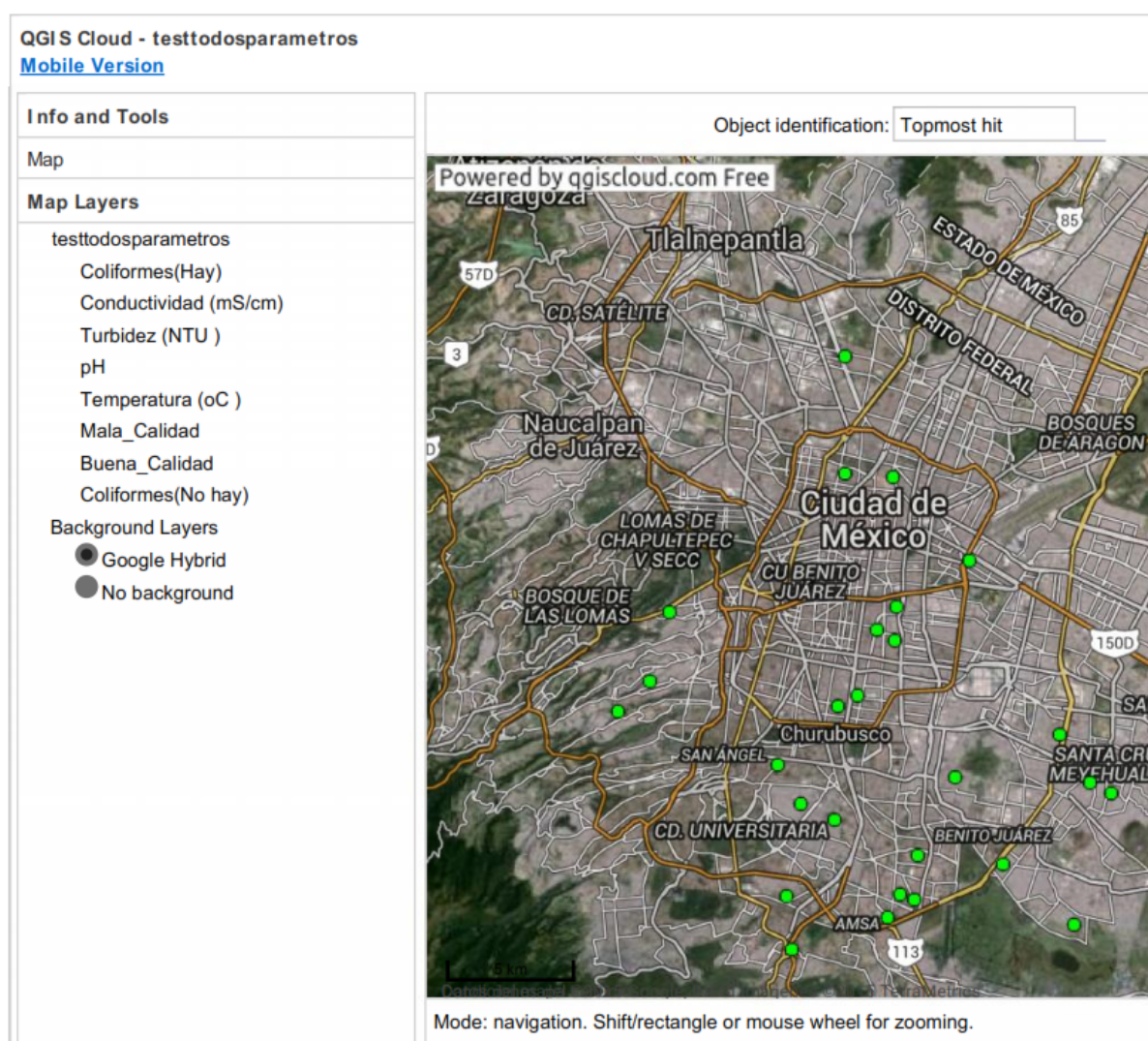


Figura 6: Despliegue de información (Menú Mapas) del dispositivo en el celular, mostrando puntos de buena calidad del agua del agua potable.

El protocolo de comunicación del dispositivo hace la diferencia de este aparato de medición respecto a otros dispositivos comerciales que miden la

calidad del agua de forma separada y que han sido desarrollados con la finalidad de satisfacer un mercado potencial de consumo. El dispositivo

para medir la calidad del agua doméstica es un aparato desarrollado para recabar datos de la calidad del agua en los hogares y poderla utilizar para proporcionar información de las condiciones del agua potable en la ciudad. Es equivalente a contar con una estación de monitoreo de calidad del agua en cada domicilio. Como servicio al usuario, le proporciona de manera instantánea la indicación de poder o no beber el agua de la llave. Pero como servicio a la sociedad, permite mantener al público alerta de las condiciones de calidad del agua potable en sus domicilios, más aún permitirá detectar en tiempo real de una contaminación del agua y evitar daños a la salud por ingerir ese tipo de agua. Será posible también diseñar planes de contingencia por la distribución de la mala calidad del agua potable, sobre todo durante el estiaje, de manera similar como se hace con la calidad del aire.

4. ¿Dónde puedo adquirir el dispositivo para medir la calidad del agua potable?

Actualmente, el dispositivo existe a nivel de presentación. Se está diseñando la versión industrial para ponerse a disposición al público en general. Después de someterlo a pruebas de control de calidad.

5. ¿Cómo cambiará la cultura del agua con el dispositivo?

En primer lugar, pasará a formar parte de nuestros hábitos la medición de la calidad del agua potable para generar certeza en lo que se está bebiendo. Algo similar cuando buscamos la fecha de caducidad de un producto antes de adquirirlo. En segundo lugar, la comunidad estará informada de la calidad del agua potable no solo en su hogar, sino que también en la ciudad donde vive. Con la posibilidad de

consumirla de forma directa del grifo de la red de distribución si esta cumple con la calidad para uso y consumo humana. Impactando en el gasto familiar.

6. ¿Qué otros dispositivos están por venir?

Durante las pruebas de calibración, funcionamiento y análisis de la información de los parámetros que mide el dispositivo, se han registrado varios aspectos por mejorar en este aparato, entre ellos podemos considerar las siguientes actualizaciones:

- Circuito electrónico para autorevisión del funcionamiento y actualización remota de su programación. - Esto permitirá revisar el funcionamiento del sensor antes de iniciar con las mediciones, mediante el envío de una señal eléctrica de prueba. Asimismo, habilitará al dispositivo con conexión vía internet para que haya comunicación directa con el servidor, desde donde se transmitiría e instalaría la versión actualizada del software de funcionamiento del dispositivo.

- Capacidad de transmisión continua de datos de las mediciones de calidad del agua. - En este caso, se integra al microprocesador el elemento de conexión inalámbrica Wifi Direct, en vez del Bluetooth como actualmente está configurado. Esta opción proporciona comunicación directa, vía internet, servidor dispositivo (y viceversa servidor dispositivo), sin necesidad del celular intermediario como el caso del Bluetooth o el ruteador como es el caso del elemento Wifi normal. Las conexiones mediante Wi-Fi Direct son mucho más rápidas que las de Bluetooth, además que las transmisiones las realiza con más ancho de banda, *i.e.*, Wi-Fi Direct ofrece mayor velocidad de transferencia de datos entre dos

dispositivos y con mayor calidad que Bluetooth.

- Programar al microprocesador para promediar mediciones – Esto permitirá que, las mediciones reportadas por el dispositivo sean más representativas, en vez del valor instantáneo como ocurre actualmente, toda vez que las fluctuaciones de alta frecuencia serán filtradas que generalmente son señales de ruidos generados por la electrónica.

- Capacidad del dispositivo para medir calidad del agua de no potable. – Adecuar los sensores para otros rangos de concentración de parámetros de calidad del agua que el potable. Lo que permitirá aplicar el dispositivo para diagnosticar la calidad del agua para diversos usos.

- Facilidad de reemplazo de los sensores. – Esto permitirá reemplazar los sensores del dispositivo de una manera muy sencilla, como se reemplaza un foco de luz en los hogares. Para ello, se requerirá la adaptación de la carcasa del dispositivo actual para que los sensores no están fijos a esta parte de la carcasa, si no que serán ensamblados, al estilo “click”.

- Carcasa más compacta. – Permitirá al dispositivo mayor versatilidad por su menor tamaño. Esto se logrará mediante el rediseño estructura de la carcasa que obedece, primero, al rediseño de los circuitos electrónicos y, en segundo lugar, al aprovechamiento al máximo de los espacios disponibles de la carcasa.

Asimismo, durante el proceso del desarrollo de los sensores del dispositivo, se abrieron nuevas oportunidades de diseño de sensores, especialmente de nanobiosensores para la detección de otros organismos como salmonela,

enterococos, bacilo *Vibrio cholerae* que produce el cólera, entre otros Savas *et al.*, 2024.

7. ¿En qué estamos?

Se cuenta con unos cuantos dispositivos que pueden usarse para la demostración de su funcionamiento, con el apoyo de alguno de los inventores. Estamos desarrollando la versión de uso público en donde la carcasa del dispositivo sea de uso rudo, completamente impermeable y de sellado hermético, así como la protección de los circuitos electrónicos protegidos contra la humedad y el plagio. Es decir, una versión para uso público que nos permita realizar demostraciones de su funcionamiento sin la necesidad de asistencia personal. Esta versión será también el prototipo para manufacturar el dispositivo de manera tal que podamos introducir en el mercado para todo público.

Con la experiencia adquirida del desarrollo del dispositivo descrito aquí, la aplicación de nanotecnologías, circuitos electrónicos impresos, la comunicación telemétrica y los protocolos de comunicación, ha permitido plantear nuevos desarrollos de vanguardia de sensores para el diagnóstico de la calidad del agua en sistemas naturales (cuerpos de agua superficiales y subterráneos) y confinados (redes de agua) compactos, de respuesta en tiempo real, versátiles para todo tipo de usuario y de bajo costo. De manera tal que puedan ser considerados como una alternativa viable para la detección temprana de la contaminación del agua en todos los sitios de muestreo actuales y por implementarse a nivel nacional, así como en muestras de agua que cualquier usuario quisiera diagnosticar la condición de su calidad. Este diagnóstico permitirá alertar en tiempo

real de realizar y/o intensificar los análisis fisicoquímicos, bacteriológicos y/o tóxicos necesarios en los sitios de atención señalados por el diagnóstico para verificar el grado de contaminación y así poder tomar las medidas de contingencia adecuadas para mantener en buenas condiciones la calidad del agua CONAGUA (2018).

Es decir, desarrollar plataformas de sensores portables de alta tecnología, sensibilidad, selectividad, compatibilidad y de bajo costo, para la medición de parámetros de calidad del agua capaces de diagnosticar y transmitir en tiempo real la condición de potabilidad, la presencia bacterias patógenas, los contaminantes de origen antropogénico y los contaminantes emergentes en el agua. Basados en

nuevas aplicaciones de nanotecnología, circuitos electrónicos impresos y de la comunicación telemétrica. En particular, generar la plataforma de sensores para la detección de contaminantes de origen antropogénica en el agua, mediante el desarrollo de nanosensores de *E. coli* Figura 7 que fue desarrollado en este proyecto, por otra parte para la detección de metales pesados (como pudieran ser: As, Cd, Pb, Cr, Ag, Zn o un indicador de la presencia de estos elementos químicos), presencia de materia orgánica (como pudieran ser los indicadores: oxígeno disuelto, DQO, carbón total), y compuestos orgánicos dañinas a la salud humana (como pudieran ser: cianuro, órgano-clorados o un indicador de la presencia de estos compuestos químicos).

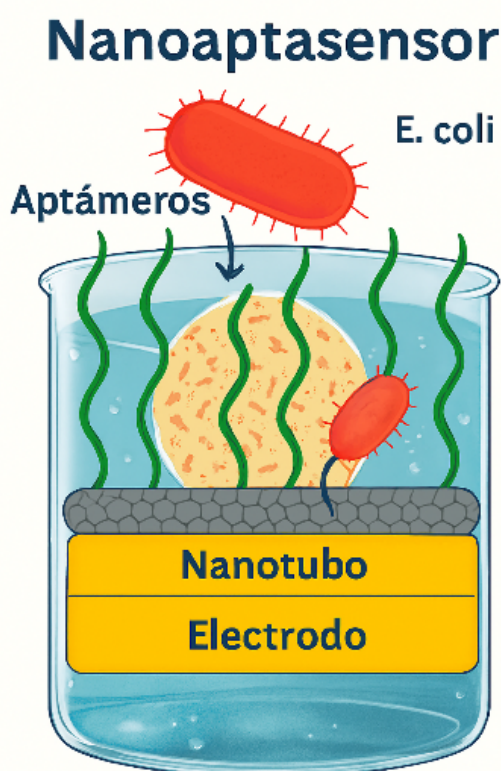


Figura 7: Nanosensor con nanotubos de carbono para *E. coli*

Asimismo, para la detección de contaminantes emergentes en el agua, mediante el desarrollo de nanosensores funcionalizados para la detección de nuevos componentes (como pudieran ser: antisépticos, esteroides, hormonas o un indicador de la presencia de este tipo de moléculas) Ali *et al.*, 2021; Wang *et al.*, 2023.

Referencias

- [1] Ali, M. R., Bacchu, M. S., Setu, M. A. A., Akter, S., Hasan, M. N., Chowdhury, F. T., & Khan, M. Z. H. (2021). Development of an advanced DNA biosensor for pathogenic *Vibrio cholerae* detection in real sample. *Biosensors and Bioelectronics*, 188, 113338.
- [2] A.R. E. Gómez-Reyes, O.A., Monroy, N. Batina, D. Jiménez, A.R. Abad, R. Constantino, D.P., Montero, F. O, Tapia, F. Ramirez, E. Velázquez, I. Morales, Hernández, A. Solís, J de J., Hernández, Mex. Pat. 387612, 2016; Biosensor para la detección de *E. coli* y dispositivo que lo comprende, IMPI, CDMX, Mexico.,387612,2021.
- [3] CONAGUA. Estadísticas del Agua en México, Edición 2018. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. 2018.
- [4] DOF (2022). Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua.
- [5] Huang, C. W., Lin, C., Nguyen, M. K., Hussain, A., Bui, X. T., & Ngo, H. H. (2023). A review of biosensor for environmental monitoring: principle, application, and corresponding achievement of sustainable development goals. *Bioengineered*, 14(1), 58–80. <https://doi.org/10.1080/21655979.2022.2095089>
- [6] Lara Figueroa, H. N., & García Salazar, E. M. (2019). Prevalencia de enfermedades asociadas al uso de agua contaminada en el Valle del Mezquital. *Entreciencias: diálogos en la sociedad del conocimiento*, 7(21), 91-106.
- [7] Mazari-Hiriart, M., Tapia-Palacios, M. A., Zarco-Arista, A. E., & Espinosa-García, A. C. (2019). Challenges and opportunities on urban water quality in Mexico City. *Frontiers in Environmental Science*, 7, 169.
- [8] Rodríguez, M. J, Rodríguez, G., Serodes, J., & Sadiq R. Subproductos de la desinfección del agua potable: Formación, aspectos sanitarios y reglamentación. *Interciencia*, 32(11), 749-756, 2007. Recuperado en 26 de febrero de 2025, de <http://ve.scielo.org/scielo>
- [9] Savas, S., & Saricam, M. (2024). Rapid method for detection of *Vibrio cholerae* from drinking water with nanomaterials enhancing electrochemical biosensor. *Journal of Microbiological Methods*, 216, 106862.
- [10] Velázquez, E. (2024). Detección en Línea de la Calidad Microbiológica del agua (Tesis para obtener el grado de Doctora en Biotecnología). UAM-IZT.
- [11] Wang, L., Wang, H., Tizaoui, C., Yang, Y., Ali, J., & Zhang, W. (2023). Endocrine disrupting chemicals in water and recent advances on their detection using electrochemical biosensors. *Sensors & Diagnostics*, 2(1), 46-77.