

## DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE MEDIDOR pH DE BAJO COSTO

Gonzalo Hedain López-Mera\*, Diego Sánchez-García, Raúl Dalí Cruz-Morales,  
David Tinoco-Varela y Luis Alberto Parra-Oaxaca  
*Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán*

\*ghlopez@comunidad.unam.mx

### Resumen

Con el propósito de abordar la carencia de instrumentos de medición en el entorno educativo en laboratorios de farmacia, bioquímica, química, entre otras, se desarrolló y validó un prototipo medidor de pH de bajo costo utilizando el módulo PH-4502C. El desarrollo de este medidor de pH responde a la necesidad de contar con herramientas accesibles y precisas para la medición de pH, un parámetro crucial en numerosas aplicaciones químicas y biológicas, tales como el monitoreo de cultivos celulares, el control de calidad en la producción de alimentos y bebidas, y la investigación en procesos bioquímicos. La implementación de un dispositivo de bajo costo permite a laboratorios con recursos limitados acceder a tecnologías de medición precisas, promoviendo así la equidad en el ámbito científico y educativo. El módulo PH-4502C es conocido por su facilidad de uso y su compatibilidad con diversos sistemas de monitoreo y control. La validación del prototipo se realiza utilizando el simulador de precisión HI 931001, un estándar en la calibración de dispositivos de pH, garantizando la confiabilidad de las mediciones. Así también, se realiza un comparativo de medición con el equipo comercial Science Med modelo SM-25CW y el equipo HI98127, ambos ampliamente utilizados en laboratorios profesionales, lo que subraya la viabilidad del PH-4502C como una alternativa económica sin comprometer la calidad de los resultados. Así entonces, se tiene un dispositivo de arquitectura abierta, con la capacidad de personalización según necesidades específicas a expensas de un tiempo considerable de desarrollo.

**Palabras clave:** Código abierto, pHmetro, Arduino.

## Introducción

En un concepto sencillo, el pH es una unidad de medida que indica el grado de acidez o alcalinidad de una solución acuosa. El rango de pH varía de 0 a 14, siendo 7 el valor pH neutro. Para valores de pH menores a 7 la solución se considera ácida y para valores pH mayores a 7 la solución se considera alcalina (Instituto Nacional del Cáncer, s/f). Como se menciona en Enseñanza del concepto de pH desde la perspectiva del pensamiento científico (Pineda *et al.*, 2020)), medir el valor del pH es de gran importancia en la industria alimenticia, en medioambiente, en control de calidad, en el sector salud, entre otros. En procesos industriales, sitios como ¿Qué Es el pH? Hanna Instruments Colombia (s/f.), enlistó las siguientes aplicaciones:

- Producir productos con propiedades coherentes y bien definidas.
- Producir productos de forma eficiente a un costo óptimo.
- Evitar problemas de salud en los consumidores.
- Cumplir con los requisitos reglamentarios.

Para la industria cervecera, la medición de pH en un mosto durante el macerado y la cocción debe estar entre los valores de 5.2 y 5.5, ya que, en caso de trabajar con agua muy básica, es decir con pH mayor a 7, probablemente el mosto tendrá dificultades de acidificarse (Cocinista, s/f). Por lo tanto, la importancia del manejo teórico-práctico del pH a nivel profesional y de investigación deja entredicho que debe ser manejado ampliamente en el entorno educativo, permitiendo el desarrollo del pensamiento científico que genere habilidades en los estudiantes, como lo marca Chamizo (2017).

En cuanto al enfoque práctico del concepto de pH, se presenta la problemática en el entorno educativo de la falta de instrumentos de medición en los laboratorios de farmacia, bioquímica, química, entre otras. Siendo que este tipo de instrumentos están diseñados para ser reutilizables en comparación de las tiras reactivas de pH, tienen la desventaja que el uso incorrecto, la falta de mantenimiento, las condiciones de trabajo o temperaturas elevadas reduzcan la vida útil de los electrodos de pH. De acuerdo con Hanna Instruments (s/f), la vida media de un electrodo de pH es de 1

año, y dependiendo las condiciones de uso, los electrodos o alguno de sus componentes puede dañarse, lo que provocará una medida de pH errónea. En el mejor de los casos, dependiendo el instrumento, se tiene que sustituir dicho componente dañado por otro de las mismas características, lo que generará un costo el cual suele ser elevado en comparación con sustituir el instrumento de forma total. Para otros dispositivos llamados de bolsillo, por su diseño y carencia de repuestos o imposibilidad de mantenimiento, estos deben ser desechados y adquiridos nuevamente.

Para solucionar esta problemática, aunado a la aparición de nueva tecnología a nivel electrónico y de instrumentación se están desarrollando proyectos a bajo costo y de código abierto, por mencionar el desarrollo de proyectos con la plataforma Arduino. Entre los proyectos enfocados a la metodología e implementación de prototipos medidores de pH a bajo costo, presentando resultados precisos a los obtenidos por medidores de pH de uso comercial y profesional se encuentra Saucedo (2020) quien presenta un medidor de pH de bajo costo para aplicaciones didácticas, en el área de agricultura Córdova *et al.* (2019), implementa un medidor de pH y humedad en el suelo de un invernadero y en Moscol (2022), se desarrolla un sistema medidor de pH y temperatura en productos lácteos.

Este trabajo tiene por objetivo mostrar el desarrollo de un prototipo medidor de pH electrónico de bajo costo enfocado al uso en el entorno educativo y científico. Para justificar su operabilidad se realiza una comparación del grado de sensibilidad y linealidad del prototipo desarrollado con respecto a medidores de pH de uso comercial. En cuestiones tecnológicas, es bien sabido que el desarrollo de proyectos con características de código abierto tiene una tendencia prominente respaldado por la accesibilidad de tecnología de bajo costo en cuanto a componentes electrónicos, como lo señalaron Valencia *et al.* (2021), es una temática que le compete a toda la industria actual. Por tal motivo es de elección en este trabajo utilizar Arduino como la plataforma electrónica de código abierto para desarrollar un prototipo medidor de pH de bajo costo.

### *Medidores de pH electrónicos*

En esencia, el funcionamiento de un medidor de pH electrónico se basa en medir la diferencia de potencial eléctrico entre un electrodo de pH y un electrodo de referencia introducidos en una misma solución, mostrando en el panel visual el resultado en unidades de pH. Respecto la variedad de tipos de medidores de pH, estos se pueden encontrar como dispositivos simples y económicos de tipo pluma, o caros y complejos de uso en laboratorio. Entre la gama de medidores de pH, se pueden encontrar modelos de altas prestaciones como el medidor de pH de mesa Science Med modelo SM-25CW, hasta modelos compactos como el HI98127 (Figura 1).



**Figura 1. Izquierda: Medidor de pH de mesa Science Med modelo SM-25CW. Derecha: Medidor de pH Hanna modelo HI98127. (Medidor de pH /mV de Mesa. Modelo SM-25CW) y (Medidor de Bolsillo pHep®4 de pH/Temperatura Con Resolución de 0.1) (VelaQuin, 2024).**

En cuanto al costo de los medidores de la Figura 1, mismos que se han utilizado en este trabajo se encuentran en la página del distribuidor a un costo de \$8,220 + IVA pesos mexicanos para el modelo SM-25CW y \$2,896 + IVA pesos mexicanos para el modelo HI98127. Estos instrumentos pueden calibrarse en uno o dos puntos de la escala de pH, y las soluciones de calibración utilizadas en este trabajo es de pH 4.01 de la marca Hanna, de un costo por lote de 25 piezas en \$864 pesos mexicanos (Figura 2).



**Figura 2. Izquierda: Solución de limpieza de propósito general. Centro: Solución de almacenamiento. Derecha: Solución de calibración pH 4.01. Soluciones de la marca Hanna.**

Respecto a las características de los medidores de pH, el modelo SM-25CW tiene un intervalo de medición de 1 a 14 pH, con precisión de  $\pm 0.05$  pH, una resolución de 0.01 pH con una calibración automática de 1 a 3 puntos. En cuanto al modelo HI98127 el intervalo de medición es de 1 a 14 pH, con precisión de  $\pm 0.1$  pH (Hanna, Instruments, 2024), una resolución de 0.1 pH con calibración automática de 1 a 2 puntos. Como se puede notar, la diferencia de precisión y resolución es amplia entre los medidores de uso en laboratorio y los medidores portátiles, y aun cuando estos últimos instrumentos son notablemente inferiores, la sencillez de su manejo, su menor costo y los aceptables resultados en la medición de pH los posibilitan para contemplarlos en aplicaciones didácticas, estudios de formación profesional y de desarrollo científico.

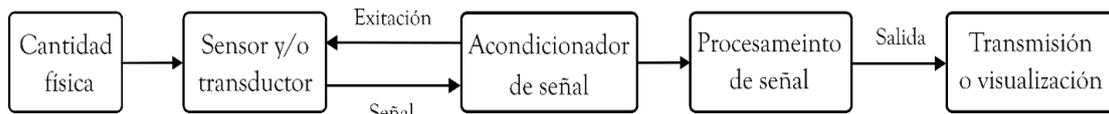
## Objetivo

Desarrollar un prototipo medidor de pH de bajo costo, utilizando la tarjeta de desarrollo Arduino Nano y el módulo PH-4502C comparable a los dispositivos comerciales convencionales, con el fin de generar un dispositivo asequible para aplicaciones científicas y educativas.

## Materiales y métodos

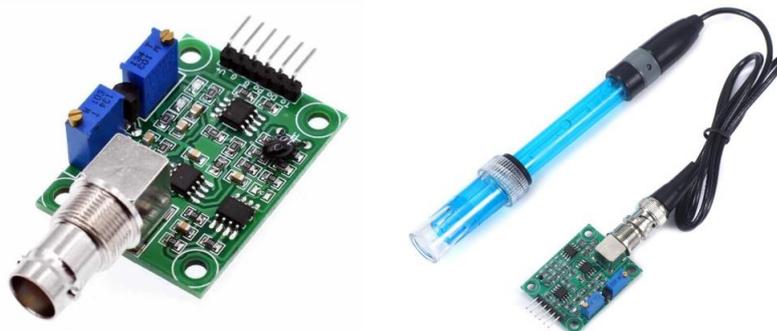
### *Desarrollo del prototipo*

En cuanto al desarrollo del instrumento de medición, se va a seguir el esquema constructivo según Webster y Eren (2014), que muestra los bloques de conexión entre la cantidad física a medir y la visualización del valor medido para el usuario (Figura 3).



**Figura 3. Estructura constructiva de un instrumento típico (Webster, y Eren, H. 2014).**

Con el objetivo de desarrollar un dispositivo de bajo costo y código abierto, este trabajo tiene por elección el uso de la tarjeta Arduino Nano como elemento de procesamiento, por ser una versión compacta en la gama de tarjetas Arduino, permitiendo desarrollar un prototipo de mínimas dimensiones. El microcontrolador de esta tarjeta es el ATMEGA328P. Como elemento sensor, se hace la elección del módulo PH-4502C y la sonda de electrodo E201 que es adquirida por un costo de \$300 pesos mexicanos. La Figura 4 muestra el módulo y el electrodo con conector BNC. El intervalo de medición de este sensor es de 0 a 14 pH, con un tiempo de respuesta menor o igual a 5 s, una salida de señal de voltaje analógico con salida de compensación de temperatura.



**Figura 4. Izquierda: Módulo sensor PH-4502C. Derecha: Sonda de electrodo E201 (AliExpress, 2024).**

Como se mencionó, el módulo sensor tiene una conexión BNC que es adecuada para la mayoría de los medidores de pH del mercado, por lo que resulta conveniente a la hora de sustituir la sonda de electrodo, en caso de que este se dañe o termine su vida útil. La Figura 5 muestra las partes que componen al módulo sensor PH-4502C.



**Figura 5. Elementos que componen al módulo PH-4502C (Elaboración propia).**

De la Figura 5, se destacan principalmente los siguientes elementos:

- Salida de valor pH. Es la salida analógica del valor de pH medido por medio de la sonda de electrodo E201. La magnitud de salida es voltaje, por tanto, mediante programación en el procesador se realiza la conversión a su valor equivalente en pH.
- Señal de tierra. Es la referencia a tierra (GND).
- Potencia positiva. Es el pin de alimentación de voltaje del módulo.

El módulo sensor se ajusta de forma manual mediante dos potenciómetros de precisión. El potenciómetro de ajuste de referencia permite ajustar el valor de pH del medidor cuando se encuentra trabajando, esto es, un medidor de pH se debe calibrar con referencia a una solución de calibración de pH o buffer, o en su caso hacer uso de un calibrador electrónico. El potenciómetro de ajuste de umbral permite ajustar el

valor límite de pH a medir, una vez alcanzado el valor ajustado, el módulo enciende un led rojo mismo que se encuentra en el módulo. Este es de utilidad como indicador cuando el valor de un valor de pH establecido.

Para la visualización del valor de pH con el usuario y su equivalencia en voltaje, se dispone de un display de 16 segmentos de color azul (Figura 6). A este display se le coloca un potenciómetro para el control de contraste del display y así tener una correcta visualización de los datos.

Al prototipo se le agregó un display LCD de 16x2 segmentos, el cual nos ayudará a mostrar en su pantalla los resultados del valor medidor de pH, así como su equivalencia en voltaje. A este display se le adjunta un potenciómetro que nos ayudará a controlar el contraste y la correcta visualización de los datos en el display.



Figura 6. Display LCD de 16x2 segmentos (Steren, 2024).

El esquema eléctrico para el prototipo del medidor de pH se presenta en la Figura 7, el cual integra la tarjeta Arduino Nano, el módulo sensor PH-4502C, el display LCD de 16 segmentos y el potenciómetro.

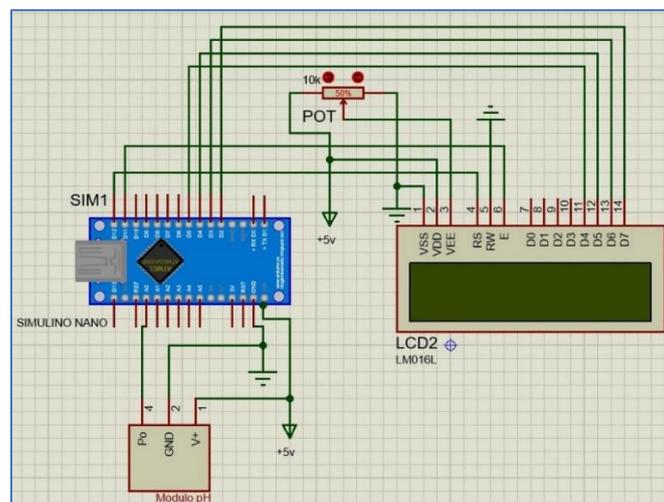


Figura 7. Diagrama de conexiones del medidor de pH (Elaboración propia).

Para realizar la conversión de voltaje analógico al valor de pH medido por la sonda del electrodo se utilizaron las siguientes líneas de código como código parcial del escrito en Arduino:

```
float valor_calibracion = 21.34; // Se declara la variable flotante de calibración.
```

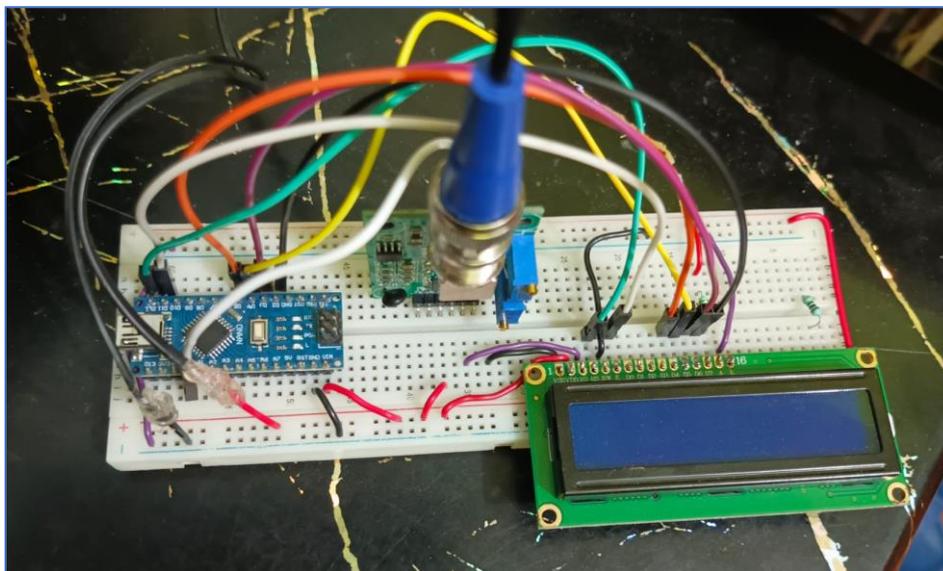
```
int valor_pH = 0; // Se declara la variable entera de medición.
```

```
Avgval = 0;
```

```
float volt = (float)avgval * 5 / 1024 / 6;
```

```
float pH_act = -5.7 * volt + valor_calibracion;
```

Para verificar que el funcionamiento de los componentes según el diseño del prototipo en condiciones de aplicación, se armó el circuito electrónico en una protoboard (Figura 8).

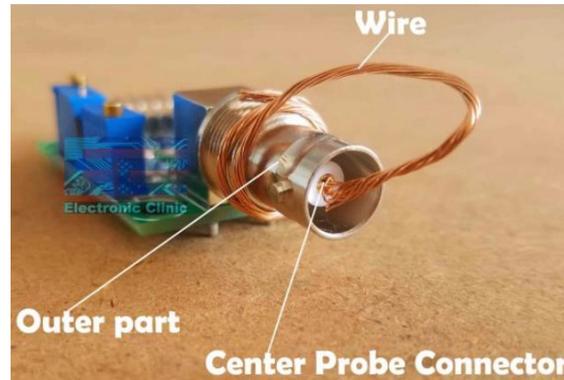


**Figura 8. Armado experimental del medidor de pH (Elaboración propia).**

Para ajustar el módulo sensor se realizó el siguiente procedimiento.

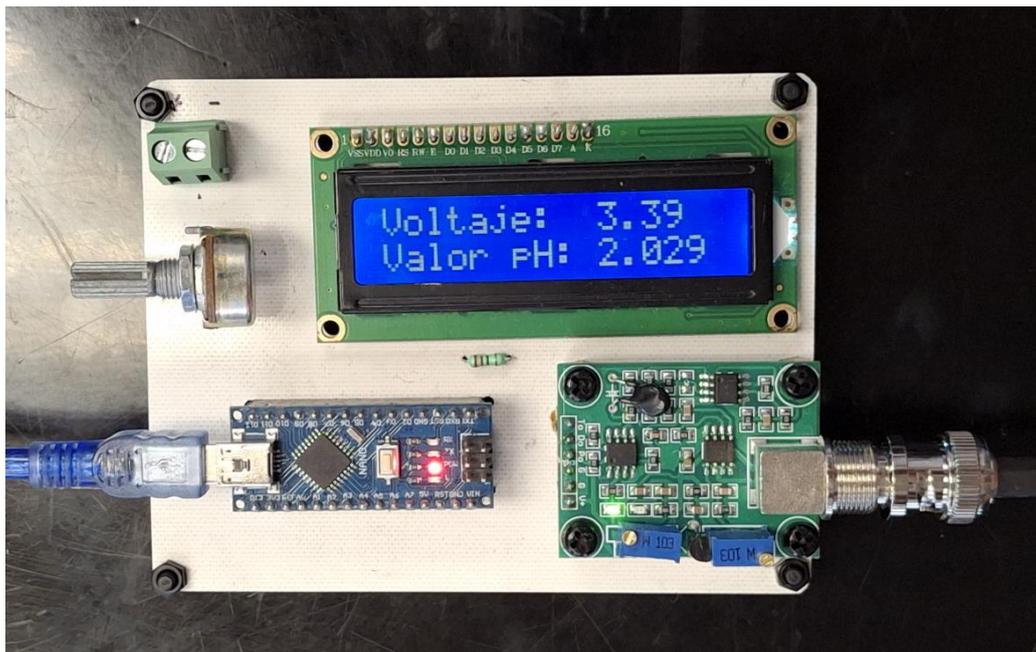
1. Se utilizó un alambre que cortocircuitara el interior del conector BNC con su parte metálica exterior, como se muestra en la Figura 9. Esto provoca que exista un voltaje en el pin de salida de valor pH, cuyo valor se busca que sea de 2.5V, que equivale a tener un valor de pH de 7, el cual se utilizará como valor de referencia para calibrar el módulo sensor. Este método de calibración

es útil si no se tiene a disposición un Buffer o un calibrador electrónico de uso profesional.



**Figura 9. Método de calibración por cortocircuitado (Electroniclinic, 2020).**

En el prototipo armado en el protoboard las mediciones de pH variaban si algún cable o componente del circuito se movía mecánicamente, por tanto, para evitar estos falsos de conexión del circuito se realizó el diseño de un segundo prototipo de medidor de pH en una placa de circuito impreso manufacturada de elaboración propia, considerando reducir al máximo el espacio entre componentes, y así, presentar un prototipo de mínimas medidas que lo hagan de tipo portátil (Figura 10).



**Figura 10. Prototipo de medidor de pH implementado en la placa PCB (Elaboración propia).**

*Verificación*

En cuanto a la metodología de verificación y ajuste de funcionamiento del prototipo, se ajustó el circuito con un simulador de precisión de pH modelo H1 931001 de la marca Hanna Instruments, con tres puntos de calibración de pH en 4.0, 7.0 y 10.0 (Figura 11).



Figura 11. Calibración de medidor de pH mediante calibrador H1 931001 (Elaboración propia).

Posteriormente se realizaron tres mediciones de pH con ayuda del electrodo E201 del prototipo en tres soluciones buffer de referencia pH 4.0, 7.0 y 10.0 para observar si las mediciones del instrumento prototipo eran coincidentes con el valor de los buffers. Se compararon los resultados obtenidos con tres mediciones de pH realizadas con un medidor de pH de mesa de la marca Science Med modelo SM-25CW para las mismas tres soluciones buffer de referencia pH (Figura 12).



Figura 12. Medición de solución buffer de pH 7.0. Izquierda: con medidor prototipo. Derecha: con medidor de la marca Science Med (Elaboración propia).

En una segunda prueba se realizaron mediciones a un buffer de referencia de pH 4.01 de la marca Hanna como referencia de ajuste y a sustancias de valores distintos de pH, en esta ocasión se utilizaron tiras reactivas de pH, el medidor de pH desarrollado en este trabajo y el equipo HI98127 (Figura 13).



Figura 13. Medición de solución buffer de pH 4.01. Izquierda: con medidor prototipo y tira reactiva de pH. Derecha: con medidor HI98127 (Elaboración propia).

## Resultados

Al realizar las mediciones con el prototipo y con el medidor de mesa profesional, se realizó una comparación de los datos obtenidos, se observó que el medidor de pH diseñado presentó resultados semejantes a los obtenidos con el medidor comercial, estos se pueden ver en la Tabla 1.

Tabla 1. Valores obtenidos con buffers de referencia (Elaboración propia).

Buffer	Valor con prototipo	Valor con Science Med
pH 4	4.08	4.08
pH 7	6.97	6.97
pH 10	9.53	--

En cuanto a la prueba de medición de pH con el medidor de uso profesional para el buffer de pH 10, esta se omitió debido a la calidad del buffer y el grado alto de alcalinidad que pudiera poner en peligro al equipo y con ello su utilización en la Facultad.

Los valores medidos de pH obtenidos en la prueba con el equipo HI98127 se presentan en la Tabla 2.

**Tabla 2. Valores obtenidos en pruebas de pH (Elaboración propia).**

Valor con tira reactiva	Valor con prototipo	Valor con HI98127
1	1.36	1.44
4	3.94	4.04

## Conclusión

Los valores obtenidos por el prototipo son semejantes al instrumento de uso profesional, lo que indica que tiene un grado de sensibilidad y linealidad correctos, por lo que el prototipo puede ser una alternativa eficaz, fiable y muy útil para realizar diversas pruebas de pH en los distintos campos académicos.

En cuanto a costos, resulta más barato el prototipo desarrollado en comparación al de la marca Science Med, por lo que el prototipo es una opción factible de construir.

El proyecto puede seguirse desarrollando, entre las diferentes propuestas se plantea que el prototipo permita visualizar valores de pH en una computadora y a su vez guardar los datos obtenidos de las mismas mediciones. Otra propuesta es que se extienda el desarrollo del software a nivel programación para hacer tareas adicionales como mostrar mensajes de inicio y apagado cuando realice estas tareas el prototipo, con fines estéticos, además de poder modificar la manera que muestra la información medida con la sonda de electrodo.

Por último, la vida útil del dispositivo se puede prolongar dando mantenimiento preventivo y/o sustituyendo la sonda de electrodo cada cierto tiempo, ya que estas por lo general pierden efectividad con el tiempo.

## Agradecimientos

En esta sección se busca dar un reconocimiento explícito por el apoyo brindado al proyecto PIAPIME 1.31.41.24 y al proyecto PIAPIME 1.31.31.24.

## Referencias

AliExpress. 2024. *Módulo de Sensor regulador de detección de valor de PH líquido 0-14, probador de medidor de Control de monitoreo + Sonda de electrodo de PH BNC para Arduino - AliExpress 502*. En:

[https://es.aliexpress.com/item/1005006637934611.html?spm=a2g0o.productlist.main.3.6955A8KjA8KjoJ&algo\\_pvid=a74276a9-cc35-493d-a019-bba644c04d9e&algo\\_exp\\_id=a74276a9-cc35-493d-a019-bba644c04d9e-1&pdp\\_npi=4%40dis%21MXN%21424.24%21194.98%21%21%21148.30%2168.16%21%402101e07217250521908636969e405a%2112000037894729008%21sea%21MX%212607966436%21X&curPageLogUid=9oAvlyLokqfb&utparam-url=scene%3Asearch%7Cquery\\_from%3A#nav-specification](https://es.aliexpress.com/item/1005006637934611.html?spm=a2g0o.productlist.main.3.6955A8KjA8KjoJ&algo_pvid=a74276a9-cc35-493d-a019-bba644c04d9e&algo_exp_id=a74276a9-cc35-493d-a019-bba644c04d9e-1&pdp_npi=4%40dis%21MXN%21424.24%21194.98%21%21%21148.30%2168.16%21%402101e07217250521908636969e405a%2112000037894729008%21sea%21MX%212607966436%21X&curPageLogUid=9oAvlyLokqfb&utparam-url=scene%3Asearch%7Cquery_from%3A#nav-specification)

Chamizo, J.A. (2017). *Habilidades de pensamiento científico. Los diagramas heurísticos*. Facultad de Química, UNAM. ISBN 978-607-02-9893-6.

Cocinista. (s. f.). *La química del agua para hacer cerveza*. En: <https://www.cocinista.es/web/es/recetas/hacer-cerveza/trucos-y-consejos/la-quimica-del-agua-para-hacer-cerveza.html>

Córdova, M.G., Montiel, J.E., Ramírez, H.J., Robles, P.P., Pérez, M.H. (2019). Diseño e Implantación de un Prototipo Medidor de pH y Humedad en el Suelo de un Invernadero. Capítulo 4. *Sinergia Mecatrónica*. 35-46.

Electroniclinic. (2020). *pH meter Arduino*. En: <https://www.electroniclinic.com/ph-meter-arduino-ph-meter-calibration-diymore-ph-sensor-arduino-code/>

Hanna Instruments Colombia. (s/f). *Blog ¿Qué es el pH?*. En: [https://www.hannacolombia.com/blog/post/447/que-es-el-ph?srsId=AfmBOor2PpunR\\_xlXX2WAbnViHR15mKNcscZVcu3fK0SWOkhomyrebOF](https://www.hannacolombia.com/blog/post/447/que-es-el-ph?srsId=AfmBOor2PpunR_xlXX2WAbnViHR15mKNcscZVcu3fK0SWOkhomyrebOF)

Hanna Instruments. (2024). *Medidor de bolsillo pHep®4 de pH/temperatura con resolución de 0.1*. En: <https://hannainst.com.mx/medidor-de-bolsillo-phep-4-de-ph-3-temperatura-con-hi98127>

Hanna Instruments. (s/f). *Blog ¿Problemas con tu electrodo de pH?* En: <https://www.hannainst.es/blog/1539/problemas-con-tu-electrodo-ph>

Instituto Nacional del Cáncer. (s/f). *pH*. En: <https://www.cancer.gov/espanol/publicaciones/diccionarios/diccionario-cancer/def/ph>

Moscol, C.C.A. (2022). *Desarrollo de un sistema embarcado IoT medidor de pH y temperatura en productos lácteos*. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional de Frontera. Sullana, Perú. 60 pp.

Pineda, C.D.Y., Medina, V.Ó.J., Falla, R.G. (2020). *Enseñanza del concepto de pH desde la perspectiva del pensamiento científico: una revisión sistemática*

*exploratoria*. Pensamiento y Acción, (30): 37-51.  
<https://doi.org/10.19053/01201190.n30.2021.12129>

Saucedo, M.Á.B. (2020). Medidor de ph de bajo costo para aplicaciones didácticas (Low-cost ph-meter for didactic applications). *Pistas Educativas*, 42(137).

Steren. (2024). *Display LCD 2x16*. En: <https://www.steren.com.mx/display-lcd-2x16.html?srsltid=AfmBOopKe6dRlnApjKdd93feSocsgVncg6MU1FSKOPOOyT0FIV7tDh-m>

Valencia, A.A., Cardona, A.S., Rúa, O.A.F., Obando, I.C., Trespalacios, A., Bermeo, G.C., Cuervo, C.H. (2021). *Tendencias en el desarrollo de software libre: un análisis bibliométrico*. Virtual Edition. LACCEI International Multiconference on Entrepreneurship, Innovation and Regional Development - LEIRD 2021: 1-9.

VelaQuin. (2024). *Medidor de pH /mV de mesa. Modelo SM-25CW*. En: [https://www.velaquin.com.mx/products/medidor-de-ph-mv-de-mesa-modelo-sm-25cw?srsltid=AfmBOop\\_BldUnTab5glqfkrAtXur3lQtdvqzzHMi6m7mMIPTjtrlukoD](https://www.velaquin.com.mx/products/medidor-de-ph-mv-de-mesa-modelo-sm-25cw?srsltid=AfmBOop_BldUnTab5glqfkrAtXur3lQtdvqzzHMi6m7mMIPTjtrlukoD)

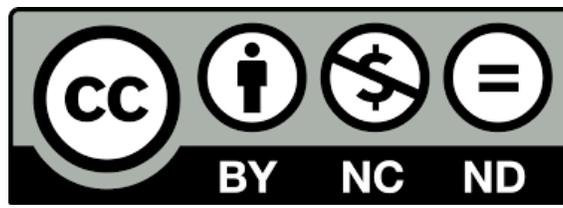
Webster, J.G., Eren, H. (2014). *Measurement, Instrumentation, and Sensors Handbook: Two-Volume Set*. Second edition. CRC press. 3559 pp



D. R. © UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.

Excepto donde se indique lo contrario esta obra está bajo una licencia Creative Commons Atribución No comercial, No derivada, 4.0 Internacional (CC BY NC ND 4.0 INTERNACIONAL). <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>

Fecha de asignación de la licencia 2024-10-28, para un uso diferente consultar al responsable jurídico del repositorio por medio del correo electrónico [unidadjuridicafesc@cuautitlan.unam.mx](mailto:unidadjuridicafesc@cuautitlan.unam.mx)



#### ENTIDAD EDITORA

Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán.

Av. Universidad 3000, Universidad Nacional Autónoma de México, C.U., Delegación Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad de México.

#### FORMA SUGERIDA DE CITAR:

López-Mera, G. H., Sánchez-García, D., Cruz-Morales, R. D., Tinoco-Varela, D., y Parra-Oaxaca, L. A. (2024). **DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE MEDIDOR pH DE BAJO COSTO**. MEMORIAS DEL CONGRESO NACIONAL DE TECNOLOGÍA (CONATEC), Año 7, No. 7, septiembre 2024 - agosto 2025. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. UNAM. [https://tecnicosacademicos.cuautitlan.unam.mx/CongresoTA/memorias2024/Mem2024\\_Paper08.html](https://tecnicosacademicos.cuautitlan.unam.mx/CongresoTA/memorias2024/Mem2024_Paper08.html)