

## **Proceso de calibración de sonda utilizada en la detección del nivel de potencial de hidrógeno en un sistema recolector de datos IoT para cultivos hidropónicos**

Nicolás Quiroz-Hernández<sup>1</sup>, Luis Efraín López-García<sup>1</sup>,  
Antonio Martínez-Ruiz<sup>2</sup>, Rodrigo Lucio Maya-Ramírez<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Benemérita Universidad Autónoma de Puebla,  
Facultad de Ciencias de la Electrónica,  
México

<sup>2</sup> Instituto Nacional de Investigaciones Forestales,  
Agrícolas y Pecuarias,  
México

[luis-efrain@hotmail.com](mailto:luis-efrain@hotmail.com)

**Resumen.** Las técnicas de cultivo hidropónico tienen gran popularidad, debido a un mejor aprovechamiento del espacio y del agua. Este tipo de cultivo hace uso de soluciones nutritivas para realizar la nutrición de las plantas, esta debe ser controlada para obtener los mejores rendimientos. El pH al ser una característica importante se debe controlar su nivel en la solución nutritiva ya que este afecta la solubilidad de los nutrientes. Para monitorizar el pH se suelen utilizar sensores dedicados a través de sistemas recolectores de datos que usan sondas para cada característica de la solución nutritiva, estas sondas deben mantenerse calibradas para funcionar de forma adecuada. En este trabajo se muestra el proceso de calibración de una sonda de pH implementado para un sistema recolector de datos IoT. La calibración de la sonda se realiza utilizando dos puntos de calibración con soluciones que tengan pH conocido, de esta forma se obtiene una recta de calibración la cual es utilizada para mediciones que se muestran como resultado de este trabajo.

**Palabras clave:** Hidroponía, pH, calibración.

### **Probe Calibration Process Used in the Detection of the Hydrogen Potential Level in an IoT Data Collection System for Hydroponic Crops**

**Abstract.** Hydroponic cultivation techniques are very popular, due to a better use of space and water. This type of cultivation makes use of nutritive solutions to carry out the nutrition of the plants, this must be controlled to obtain the best yields. The pH, being an important characteristic, its level in the nutrient solution must be controlled since it affects the solubility of the nutrients. To monitor pH, dedicated sensors are often used through data collection systems that use probes for each characteristic of the nutrient solution; these probes must be kept

calibrated to function properly. This paper shows the calibration process of a pH probe implemented for an IoT data collection system. The calibration of the probe is carried out using two calibration points with solutions that have a known pH, in this way a calibration line is obtained which is used for measurements that are shown as a result of this work.

**Keywords:** Hydroponics, pH, calibration.

## 1. Introducción

El cultivo hidropónico es una de las formas más eficientes de cultivar. La tasa de crecimiento de las plantas en un sistema hidropónico es mucho mayor que en un sistema basado en el suelo [1]. La hidroponía es un tipo de cultivo que no utiliza suelo para el cultivo de plantas. En su lugar, utiliza un medio inerte como grava, arena o lana de roca, que luego se riega con agua y nutrientes.

Como resultado, las raíces de la planta están expuestas al oxígeno y al agua, mientras que las hojas de la planta están expuestas a la luz. Esto permite una mejor absorción de nutrientes por parte de las raíces y tasas de crecimiento más rápidas en comparación con las plantas cultivadas en sistemas basados en el suelo [2]. Como el cultivo hidropónico es más eficiente que el suelo, se ha convertido en el método preferido por muchos agricultores.

El sistema de producción hidropónico se encuentra en constante crecimiento dentro del sector agroindustrial, así como en la investigación científica para la generación de nuevo conocimiento. Dentro de la agricultura de precisión se hace uso de sistemas tecnológicos enfocados a capturar datos dentro de los cultivos como mencionan en [3].

Con el crecimiento del sector hidropónico nace la necesidad de diseñar nuevos sistemas recolectores de datos enfocados a este tipo de cultivo, ya que según [4] la forma de trabajo en un cultivo hidropónico es diferente al cultivo tradicional, esto ocurre porque existen otras variables de importancia dentro de los mismos.

Existen muchos factores que afectan el crecimiento de un cultivo, entre ellos se tiene por ejemplo la genética de la planta en cuestión, la temperatura del ambiente a la que se encuentra sometida, la incidencia de luz sobre el cultivo, los nutrientes que se encuentran disponibles, etc [5].

En un cultivo hidropónico la solución nutritiva es muy importante, por ello se busca obtener la mayor cantidad de información referente a esta, se utilizan diferentes sensores y sondas para monitorizar las características que influyen en el crecimiento de la planta, como son, la temperatura, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica y potencial de hidrógeno [6].

En el trabajo se habla sobre la importancia del pH para los cultivos hidropónicos, como funciona un sensor de pH y de qué forma se realiza la calibración de este. Se muestra el proceso seguido para realizar la calibración del sensor y sobre el sistema recolector de datos para observar la interconexión de los elementos. Por último, se muestran los resultados obtenidos, se da una comparativa entre esos resultados y los de otros trabajos, para terminar con unas conclusiones.

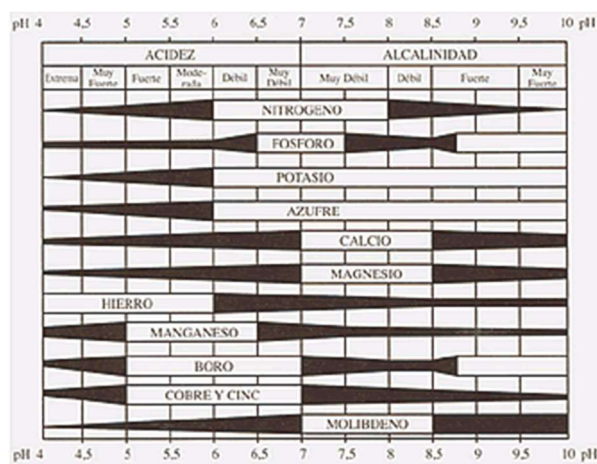


Fig. 1. Diagrama de Troug [9].

## 2. Importancia del pH en suelos y en soluciones nutritivas

La salud de una planta se ve afectada por diversos factores, siendo uno de estos las características con las que cuenta el suelo o la solución nutritiva utilizada, estas afectan la disponibilidad de macro y micronutrientes para el cultivo. El pH del suelo y las soluciones nutritivas es un factor determinante en la solubilidad de nutrientes, suelos que tienen un nivel de pH de 4.0 a 5.0 son considerados como ácidos [7]; los minerales como el aluminio y manganeso son más solubles en estos niveles lo cual puede ser tóxico para el cultivo [8].

En suelos con un nivel de pH mayor a 8.0 o 9.0 la solubilidad de los nutrientes disminuye drásticamente por ende no se encuentran disponibles para que las plantas puedan asimilarlos. En la figura 1 se muestra un diagrama de Troug, una forma gráfica de observar la influencia del pH en la disponibilidad de los nutrientes. Se observan unas barras, dependiendo del grosor es la disponibilidad, a mayor grosor, mayor disponibilidad.

En el caso del fertirriego aplicado en cultivos de suelo o en hidroponía, el nivel de pH debe ser tal que permita que los nutrientes se disuelvan en su totalidad sin dañar el sistema radicular del cultivo, de esta forma se evita la formación de precipitados ya que estos pudieran causar obturaciones en los sistemas de riego. El rango ideal se encuentra entre 5.0 y 6.5. Por encima de 6.5 se da la formación de precipitados y por debajo de 5.0 se puede dar un daño en el sistema radicular del cultivo [10].

## 3. Sensor de potencial de hidrógeno

El nivel del pH se obtiene utilizando una sonda de medición, estas son conocidas por ser utilizadas en los pH-metros, a través de estos se realiza la medición con un método potenciométrico. Se establece que entre dos disoluciones con distinta  $H^+$  se genera una diferencia de potencial, esta diferencia de potencial se utiliza para determinar el nivel

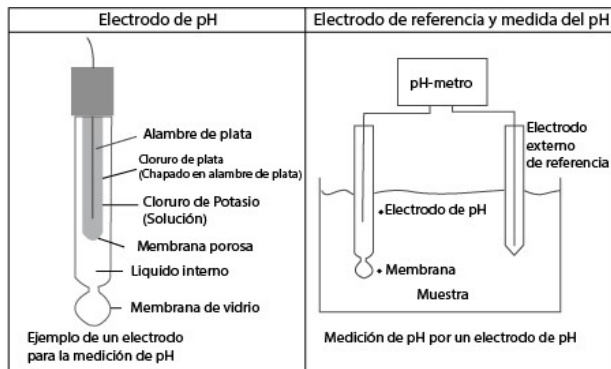


Fig. 2. Forma en la que se realiza la medición del pH [12].

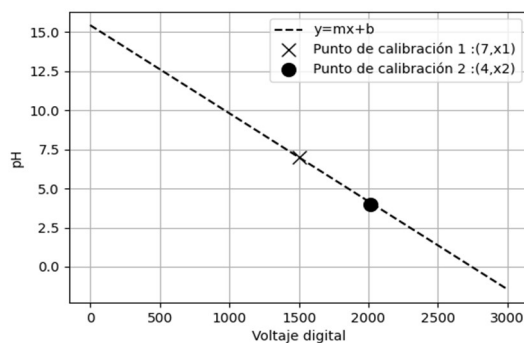


Fig. 3. Relación entre pH y voltaje digital.

de pH. La medida del pH es relativa, es decir se compara el pH de una muestra con el de una disolución con pH conocido como lo menciona [11]. Para realizar esto se utiliza un electrodo de pH como se puede observar en la figura 2, al entrar en contacto el electrodo con la disolución se establece un potencial a través de la membrana de vidrio que recubre el electrodo, el potencial generado varía según cambia el pH, para determinar el valor del pH se debe utilizar un electrodo de referencia cuyo potencial no varíe.

La sonda utilizada en este trabajo lleva por nombre Analog pH Sensor, esta pertenece a la marca Gravity. La señal de salida que entrega esta sonda se encuentra filtrada utilizando un hardware dedicado, de esta forma se obtiene una señal analógica con baja fluctuación que se encuentra en el rango de 0 a 3.0 V. Esto permite un rango de detección de 0 a 14 en el nivel de pH, tiene una precisión de  $\pm 0.1$  a  $25^\circ\text{C}$  y trabaja con una alimentación de 3.3 V a 5.5 V.

La señal que genera la sonda es leída utilizando un microcontrolador que tenga un convertidor analógico-digital, con esto se obtiene un valor digital que representa el voltaje medido por la sonda en ese instante de tiempo, con este valor es posible calcular de forma algebraica el nivel de pH, este cálculo se realiza utilizando la ecuación de la recta (1):

$$y = mx + b, \tag{1}$$

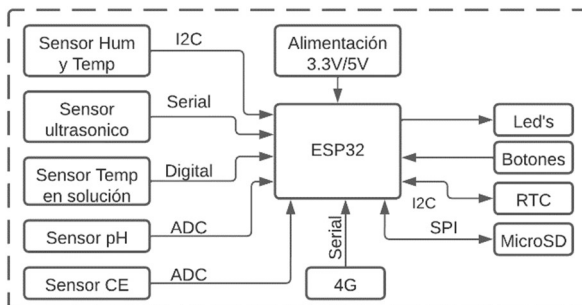


Fig. 4. Diagrama de bloques de sistema recolector de datos.

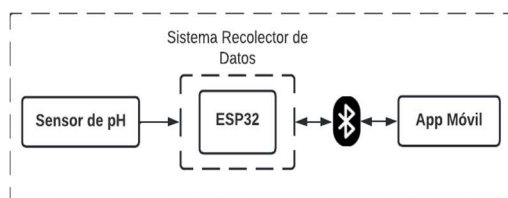


Fig. 5. Diagrama de bloques de sistema.

donde “y” representa el nivel de pH, “x” el valor digital de voltaje entregado por la sonda, “m” la pendiente y “b” la intercepción de la recta. Entonces para obtener el valor de la pendiente y de la intercepción es necesario contar con dos puntos que se encuentren dentro de la recta y así utilizar la ecuación (2) y (3) para calcular la pendiente y la intercepción respectivamente:

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}, \quad (2)$$

$$b = y - mx. \quad (3)$$

En la figura 3 se muestra un ejemplo de recta que relaciona el pH con respecto a un voltaje, se tiene un primer punto de calibración donde se utiliza una solución con pH conocido de 7 y un segundo punto con pH conocido de 4. Al conocer estos dos puntos se pueden utilizar las ecuaciones (2) y (3) para obtener la pendiente y la intercepción, de esta forma se puede calcular el nivel del pH para cualquier solución que entregue un valor X.

#### 4. Proceso de calibración

La sonda de pH se utiliza en un sistema recolector de datos IoT, en la figura 4 se muestra un diagrama de bloques de este sistema, en el cual se puede observar que cuenta un microcontrolador ESP32, este tiene integrado un modulo de comunicación Wi-Fi y Bluetooth, el sistema hace uso de cinco sensores para el cultivo hidropónico, cuenta con indicadores led, botones para reset y configuración, se puede utilizar una memoria SD para guardar los datos de forma local o a través del 4G y Wi-Fi enviar los datos al sistema de nube.

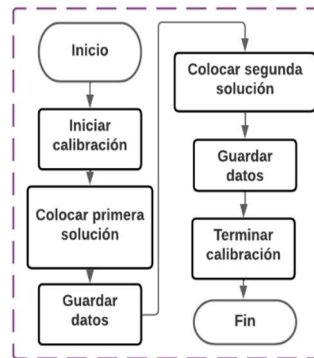


Fig. 6. Algoritmo de calibración.

El sistema cuenta con la capacidad de monitorear la humedad y temperatura relativa del ambiente, el pH, la conductividad eléctrica, el nivel y temperatura de la solución. Tres de estas sondas utilizan comunicación digital como I2C, UART y 1-WIRE, la otras dos entregan una señal analógica. Se miden estas variables ya que afectan procesos foto-respiratorios y enzimáticos de los cultivos.

Los datos son enviados a un sistema de nube desarrollado en AWS, se almacenan en una base de datos SQL y son desplegados en un panel a través de una aplicación WEB desarrollada utilizando Flask. La comunicación entre el sistema recolector de datos y la nube se realiza por Wi-Fi o por 4G haciendo uso del protocolo HTTP.

La calibración de la sonda de pH sigue el flujo que se muestra en la figura 5 donde con un diagrama de bloques se observa la conexión del sensor con el sistema recolector de datos y el uso de comunicación Bluetooth para dar enlace con una aplicación móvil, desde esta se configuran los parámetros de funcionamiento del sistema y se realiza la calibración de la sonda de pH.

La aplicación móvil a través de comunicación Bluetooth envía datos al microcontrolador ESP32 que se encuentra dentro del sistema recolector de datos, siendo así que cuando se inicia la calibración del sensor de pH, en la aplicación se le indica al usuario los pasos que debe seguir y al microcontrolador se le indica cuando debe realizar ciertas acciones.

Por dentro el microcontrolador al entrar en modo de calibración se encuentra tomando muestras con la sonda, con un comando se le indica que debe guardar el valor medido en ese instante, usando ciertos condicionales con valores precargados identifica la solución que se está utilizando, ya sea de 7.0 o de 4.0 y con un último comando se le indica el final del proceso de calibración.

La calibración se realiza siguiendo el algoritmo mostrado en la figura 6. Donde a través de la aplicación se le indica al sistema recolector de datos que se va a iniciar el proceso de calibración, el sistema espera a que se coloque una solución de calibración, en este caso se esperan soluciones con valor de 7.0 o de 4.0, al colocar la sonda dentro de la solución se detecta de forma automática cuál de las soluciones se utiliza y procede a guardar los datos que corresponderían a  $Y_1$  y  $X_1$  en la memoria del microcontrolador.

*Proceso de calibración de sonda utilizada en la detección del nivel de potencial ...*

```
voltage:1359.16  
temperature:22.7^C  
pH:7.7936  
  
>>>Enter PH Calibration Mode<<<  
>>>Please put the probe into the 4.0 or 7.0 standard buffer solution<<<
```

**Fig. 7.** Inicio de Calibración.

```
voltage:1446.97  
temperature:22.9^C  
pH:7.2988  
  
>>>Buffer Solution:7.0,Send EXITPH to Save and Exit<<<
```

**Fig. 8.** Detección de solución 7.0.

```
voltage:2005.30  
temperature:23.0^C  
pH:4.1391  
  
>>>Buffer Solution:4.0,Send EXITPH to Save and Exit<<<
```

**Fig. 9.** Detección de solución 4.0.

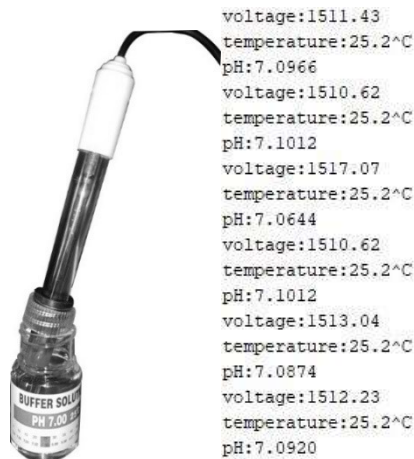
A continuación, se coloca la segunda solución y de igual forma el sistema la detecta y almacena los valores de  $Y_2$  y  $X_2$  en memoria no volátil, con estos valores se hace uso de la ecuación (2) y (3) para obtener la pendiente y la intercepción, de esta forma el sistema se encuentra calibrado y utiliza la ecuación (1) para realizar futuras mediciones, por último, se indica al sistema que se ha terminado con el proceso de calibración.

## 5. Resultados

En la figura 7 se muestra la respuesta a través de una consola de comunicación serial con el microcontrolador, donde de inicio se observan las mediciones que está realizando el sistema de forma independiente, se muestra la temperatura ambiental y el pH detectado por la sonda, seguido de esto se le envía el comando al microcontrolador para indicar que se debe acceder al modo de configuración, donde el mismo microcontrolador responde que se accedió a este modo y solicita que se coloque la solución de 4.0 o 7.0.

La sonda previamente se encuentra inmersa en una solución de 3mol/L KCL que genera una capa de protección para su almacenamiento adecuado, al sacarla de esta solución se debe limpiar con agua destilada y posteriormente utilizar la sonda ya sin ningún problema.

Seguido de esto se coloca la sonda en una solución buffer para calibración con valor de 7.0, en la figura 8 se muestra el primer punto de calibración la sonda detecta la solución de 7.0 y guarda este punto de calibración en la memoria del microcontrolador.



(a) Medición en Solución de 7.0. (b) Lecturas de medición.

Fig. 2. Comprobación de calibración.

Tabla 1. Comparativa de mediciones.

Muestra	Valor real	Medición	Trabajo [13]	Trabajo [14]
1	7.0	7.0966	7.05	7.066
2	7.0	7.1012	7.07	7.021
3	7.0	7.0644	7.08	7.017
4	7.0	7.1012	7.1	6.995
5	7.0	7.0874	7.06	X
6	7.0	7.0920	7.08	X
Error Promedio		0.09	0.07	0.02

Una vez realizado el primer punto de calibración es necesario limpiar nuevamente la sonda de pH utilizando agua destilada para eliminar los restos de la solución de 7.0 y de esta forma no se afecte el segundo punto de calibración. En la figura 9 se muestra la detección de la solución de 4.0 lo que da paso a que el sistema almacene en memoria no volátil este segundo punto de calibración.

Con esto se da por concluida la calibración y la sonda ya puede ser utilizada para realizar la medición del pH en distintas soluciones, ya que con estos puntos de calibración se da el ajuste de la recta  $y=mx+b$  que modela el comportamiento del nivel de pH con respecto a un voltaje.

Para comprobar que la calibración se dio de forma adecuada, se realiza una medición utilizando una solución con pH conocido, en este caso de 7.0. En las lecturas de la sonda se espera obtener mediciones de  $\pm 0.1$  a  $25^\circ$ .

En la figura 10 (a) se muestra la sonda colocada en la solución de 7.0 y en la figura 10 (b) las lecturas obtenidas. Se puede observar que se está teniendo una medición correcta dentro del margen de error establecido por el fabricante.



En [13] se hace uso de un sensor de pH en cultivos hidropónicos y en [14] para determinar la calidad del agua destilada con respecto a la norma ISO 17025/2005. Los autores exponen mediciones con respecto a una solución de 7.0 de pH, estas mediciones se exponen en la tabla 1, donde se comparan con las obtenidas en este trabajo. Las mediciones de este trabajo reportan mayor número de decimales de resolución en comparación a los otros dos trabajos.

El error promedio absoluto para las mediciones de este trabajo se encuentra dentro del rango que maneja el fabricante, de esta forma se observa que la calibración funciona de forma efectiva, en comparativa el trabajo [14] tiene un error promedio absoluto menor, esto se debe equipo que se está utilizando y la calidad de sonda utilizada, ya que el trabajo [14] busca cumplir los requisitos de una norma ISO.

## **6. Conclusiones**

El éxito de los cultivos hidropónicos en gran parte se debe al manejo de una buena solución nutritiva, para ello es importante mantener en un nivel adecuado el pH, esto con el objetivo de tener una buena solubilidad de los nutrientes para que las plantas a través del sistema radicular puedan asimilarlos sin ningún problema, así mismo al tener una buena solubilidad de los nutrientes se evitan los precipitados y con ello las obturaciones de los sistemas de recirculación o de riego.

El proceso de calibración abordado en este trabajo permite que los elementos de medición utilizados en un sistema recolector de datos puedan entregar una medición adecuada. Por lo tanto, la sonda de medición de pH realiza mediciones dentro de un rango óptimo para una solución nutritiva de cultivos hidropónicos.

Con este proceso de calibración se le da al usuario la capacidad de hacer una calibración óptima utilizando soluciones buffer para tener dos puntos de calibración que permiten que las mediciones de la sonda de pH puedan mantener la fiabilidad y den mediciones acertadas. La calibración y mediciones obtenidas en este trabajo se han comparado con otros trabajos en la literatura y se muestra que lo propuesto cuenta con una mayor resolución y una precisión dentro del margen que indica el fabricante.

## **Referencias**

1. Beltrano, J., Giménez, D. O.: Cultivo en hidroponía. Editorial de la Universidad de La Plata (EDULP) (2015) doi: 10.35537/10915/46752
2. Hernández, C. J., Hernández, J. L.: Valoración productiva de lechuga hidropónica con la técnica de película de nutrientes (nft). *Naturaleza y Desarrollo*, vol. 3, no. 1, pp.11–16 (2005)
3. García, E., Flego, F.: Agricultura de precisión. *Revista Ciencia y Tecnología, Tecnología Agropecuaria*, pp. 89–116 (2008) <https://www.maquinac.com/wp-content/uploads/2015/07/Agricultura-de-Precision-Universidad-de-Palermo.pdf>
4. Alveal, M. A., Campos, K. C.: Estudio comparativo de sistemas de riego hidropónico y por goteo. Universidad del Bío-Bío (2014)
5. Brenes-Peralta, L. P., Jiménez-Morales, M. F.: Manual de producción hidropónica para hortalizas de hoja en sistemas nft (nutrient film technique). Tecnológico de Costa Rica (2014) <https://hdl.handle.net/2238/6581>

6. Carrasco, G., Ramírez, P., Vogel, H.: Efecto de la conductividad eléctrica de la solución nutritiva sobre el rendimiento y contenido de aceite esencial en albahaca cultivada en NFT. Universidad de Talca, Facultad de Ciencias Agrarias, Idesia (Arica), vol. 25, pp. 59–62 (2007)
7. Rivera, E., Sánchez, M., Domínguez, H.: pH como factor de crecimiento en plantas. Revista de iniciación científica, vol. 4, no. 2 (2018) doi: 10.33412/rev-ric.v4.0.1829
8. Leal-Ayala, O. G.: Rango de pH óptimo para el desarrollo de tomate (*solanum lycopersicum* l) y tilapia (*oreochromis niloticus*) en acuaponía. Master's thesis (2017)
9. Durán, J. M., Retamal, N., Moratiel, R.: pH: Concepto, medida y aplicaciones en agricultura y medioambiente. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Universidad Politécnica de Madrid (2023) [https://www.infoagro.com/abonos/pH\\_informacion.htm](https://www.infoagro.com/abonos/pH_informacion.htm)
10. Virgen-Carvajal, J. M.: Procesamiento de señal pH para control por MC de un sistema de fertirriego en cultivos hidropónicos. Universidad de los Andes (2019) <http://hdl.handle.net/1992/44452>
11. Martínez, A. C., Ventura, I. D.: Pelargonidina extraída del rábano como sustituto de indicadores de pH ácido-base de origen sintético. Portal de la Ciencia, no. 10, pp. 93–104 (2016) doi: 10.5377/pc.v10i0.3012
12. Ayrtón, N. P.: Sistema automatizado de corrección de pH para piscina. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Villa María (2020)
13. Pacuar, E. S.: Medición de pH y conductividad eléctrica para el control de un sistema hidropónico NFT. Universidad Técnica del norte (2020) <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/10622>
14. Aruquipa, C. J.: Calificación del conductímetro y pH-metro utilizado en la determinación de la calidad del agua destilada, para cumplir los requisitos de la norma ISO17025/2005. Universidad Mayor de San Andrés (2018) <https://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/18784>