

Calibración, validación y automatización del sistema de riego por goteo subterráneo usando un microcontrolador Arduino

Calibration, validation and automation of subsurface drip irrigation system using Arduino microcontroller

David Ascencios*, Karem Meza, Jeisson Lluen & George Simon

Facultad de Ingeniería Agrícola, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú

*Autor para correspondencia: dascencios@lamolina.edu.pe

REPORTE DE CASO

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Artículo recibido: 04/09/2019

Artículo aceptado: 30/12/2019

En línea: 22/01/2020

PALABRA CLAVE:

Sensores,
actuadores,
Bluetooth,
interfaz de usuario.

CASE REPORT

ARTICLE INFORMATION

Article received: 04/09/2019

Article accepted: 30/12/2019

On line: 22/01/2020

KEYWORD

Sensors,
actuators,
Bluetooth,
user interfaces.

RESUMEN

Los desarrollos tecnológicos actuales brindan herramientas útiles y fáciles de aplicar en el manejo automatizado de los sistemas de riego. La automatización tiene como principales ventajas, el ahorro de los recursos como: la inversión, el tiempo y la mano de obra, así como mejorar la gestión del recurso hídrico. La metodología de la investigación fue la siguiente: a) selección del microcontrolador, sensores, relé y módulo de comunicación, b) calibración y validación de los sensores, c) integración de los códigos de programación, d) comunicación y desarrollo del aplicativo móvil y e) control del sistema de riego y monitoreo de la humedad del suelo. Se implementaron sensores analógicos y digitales para medir: presiones, caudales, humedad de suelo y niveles de agua en el reservorio. Los sensores fueron calibrados obteniendo el R^2 entre 0,95 - 0,99, indicando una alta correlación entre las variables físicas y eléctricas; en la validación se obtuvo el R^2 igual a 0,99. El microcontrolador recibió la información de los sensores y envió órdenes a los actuadores a través de señales eléctricas; éstas activaron los códigos de programación, permitiendo el control del sistema de riego a través de relés para el encendido y apagado de las electroválvulas y electrobomba. La gestión del sistema de riego se realizó desde un celular, a través de un aplicativo "Ardualm", vía comunicación Bluetooth. La calibración y validación de los sensores permitió el desarrollo de la automatización integrada, confiable y segura para el monitoreo y control del sistema de riego, permite el incremento la eficiencia de riego.

ABSTRACT

Current technological developments provide useful and easy-to-apply tools in automated management of irrigation systems. Automation has the main advantages of increasing the saving of resources such as investment, time and labor as well as improving the management of water resources. The research methodology was as follows: a) selection of the microcontroller, sensors, relay and communication module, b) calibration and validation of the sensors, c) integration of the programming codes, d) communication and development of the mobile application and e) irrigation system control and soil moisture monitoring. Analog and digital sensors were implemented to measure pressures, flow rates, soil moisture and water levels in the reservoir. The sensors were calibrated and validated, obtaining the R^2 between 0.95-0.99 in the calibration indicating a high correlation between the physical and electrical variable; and obtaining R^2 equal to 0.99 in the validation. The microcontroller received the information from the sensors and sent orders to the actuators through electrical signals, which activate a programming code, allowing the control of the irrigation system through relays, for switching the solenoid valves and solenoid pumps on and off. The management was done from a smartphone through an application connecting with the user via Bluetooth communication. The calibration and validation of the sensors allowed the development of integrated, reliable and safe automation for monitoring and control of the irrigation system, allows the increase in irrigation efficiency.

INTRODUCCIÓN

La escasez del recurso hídrico ha generado la necesidad de ahorro y uso eficiente del agua. Los sistemas inteligentes de gestión de riego, basados en el Internet de las cosas, pueden ayudar a lograr una utilización óptima de los recursos hídricos en la agricultura (Goap, Sharma, Shukla, & Rama Krishna, 2018). Para enfrentar la mayor demanda de agua, se hace latente la necesidad de desarrollar prácticas de gestión eficiente del recurso hídrico (Canales-Ide, Zubelzu, & Rodríguez-Sinobas, 2019; Ingale & Kasat, 2012; Mayhua López et al., 2015). La automatización de los sistemas de riego, usando los microcontroladores Arduino, reduce el consumo del agua, ahorra tiempo en la operación (Abhishek Kumar & Magesh, 2017; Ojha, Mohite, Kathole, & Tarware, 2016), disminuyendo los costos en la implementación (Shakoor, Khan Mehmood, Ahmad, & Wajid, 2016); reduce el esfuerzo humano en el manejo del sistema y el monitoreo de las plantas (Al-Omary, AlSabbagh, & Al-Rizzo, 2018; Tt, Saji, Dubey, & Saravanakumar, 2017); además, permite el uso eficiente de la energía (Khandoba & Jyoti, 2017; Reddy & Rao, 2016). Según Hong y Hsieh (2016), un sistema de invernadero con riego por goteo automatizado y la programación de riego en base a la humedad del suelo, ahorra el 90% en el uso de energía y agua.

La solución económica para la automatización de los sistemas de riego, es el uso de los microcontroladores Arduino (Khandoba & Jyoti, 2017; Abhishek Kumar & Magesh, 2017; Ortiz, Litvin, & Salas Fernandez, 2018; Rivas Sánchez, Moreno Pérez, & Roldán Cañas, 2019), debido al bajo costo de las placas, los actuadores y los sensores, en comparación con otros equipos (Tt et al., 2017). El hardware y software de la plataforma Arduino son de libre

acceso para el desarrollo interactivo de objetos autónomos y vinculados a un computador utilizando el lenguaje de programación C++ (“Arduino,” 2019).

La calibración del sensor de humedad de suelo, es útil porque permite un manejo óptimo del riego (González Teruel et al., 2019). Según las investigaciones, se reporta que para obtener la precisión en las mediciones para la programación de riego, el sensor de humedad requiere calibración específica en el suelo (Datta et al., 2018; Shakoor et al., 2016; Sui, 2016).

Kim et al. (2006) desarrolló un sistema de riego “Wireless sensing Network “(WSN), que colecta información de suelo y clima. Hong y Hsieh (2016) usaron Bluetooth para transmitir información como temperatura, humedad relativa, radiación solar y humedad de suelo, en un invernadero.

El objetivo principal de la investigación fue la calibración, validación y automatización de un sistema de riego por goteo subterráneo para césped, basado en la placa del microcontrolador Arduino.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se desarrolló el trabajo en una parcela experimental de la Universidad Nacional Agraria la Molina (UNALM) durante el año 2018; se utilizó el sistema de riego por goteo subterráneo (RGS), constituido por: un reservorio de agua de 1100 litros, un sistema de bombeo de 0,85 HP de potencia, un sistema de filtrado, válvulas volumétricas, válvulas de aire y 4 sub unidades con mangueras integrales, comandadas por electroválvulas (Figura 1).

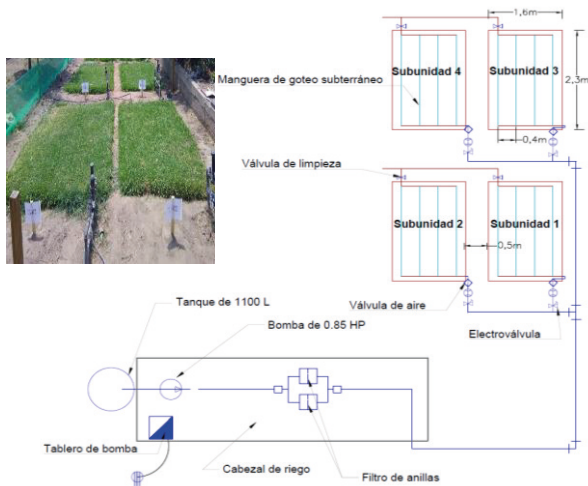


Figura 1. Área experimental del RGS.

Selección del microcontrolador, sensores, relé y módulo de comunicación

Los criterios fueron los siguientes:

- Un microcontrolador con un alto número de pines analógicos y digitales para vincular un mayor número de sensores, relés y módulo de comunicación.
- Sensores de caudal, presión, altura de agua y humedad de suelo, que tengan compatibilidad con el microcontrolador seleccionado. Los rangos de trabajo de las variables de cada sensor seleccionado, estuvieron en función de los parámetros de operación del sistema de riego.
- Relés adecuados que permitan encender o apagar los actuadores como las electroválvulas y electrobomba.
- Módulo de comunicación compatible con el microcontrolador.
- Los componentes de la automatización mencionados deben ser económicos y accesibles en el mercado.

Calibración y validación de los sensores

Se realizaron en el banco de prueba y en la parcela experimental, mediante los siguientes procedimientos (Figura 2):

Rev. Investig. Altoandín. 2020; Vol 22 Nro 1 95-105

- Desarrollo de códigos de programación para la lectura de la señal analógica en los sensores de presión y humedad de suelo; y señal digital en los sensores de caudal y nivel de altura.
- Visualización gráfica entre las señales eléctricas y los parámetros físicos de los sensores.
- Determinación de las ecuaciones de ajuste y/o factor de conversión.
- Programación e implementación de las ecuaciones de ajuste y/o factor de conversión en el programa de Arduino denominado “sketch”.
- Validación de los sensores en el sistema de riego.

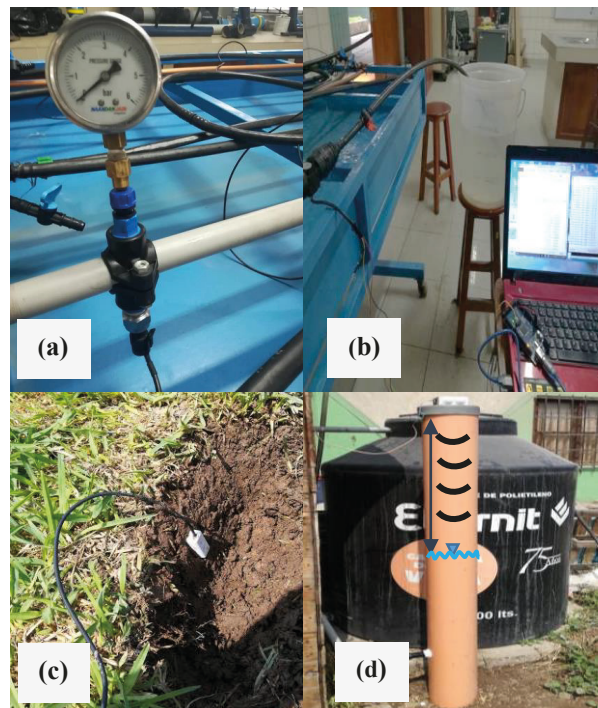


Figura 2. Calibración y validación del sensor de (a) presión, (b) caudal, (c) humedad de suelo y (d) nivel de altura.

Transductor de presión

En el banco de prueba, (Figura 2a), se instaló un collarín de polietileno de doble entrada en la tubería de PVC de 1”, en el primer orificio se instaló un punto de prueba de presión para insertar el manómetro y en el segundo, un

transductor de presión. Las presiones fueron medidas con un intervalo de un metro de columna de agua (m.c.a.), en el rango de 5 a 20 m.c.a. Las mediciones fueron recolectadas en bits a través del transductor, finalmente se determinaron las ecuaciones de ajuste para relacionar los bits y la presión en m.c.a. Se validaron las mediciones de los transductores instalados, con la lectura del manómetro en el sistema de riego.

Sensor de caudal

En una tubería de PVC de 1", (Figura 2b), se instaló el sensor de caudal para registrar la cantidad de pulsos que emitía el sensor y relacionarla con el volumen. Se determinó el factor de conversión que relaciona el número de pulsos y volumen.

El factor de corrección se calculó con la metodología propuesta por (Suresh, Balaji, Anto, & Jenith, 2014).

Se validaron las mediciones de los sensores de caudal instalados, con la lectura de la válvula volumétrica en el sistema de riego.

Sensor de humedad de suelo

Los sensores GS1[®] (Decagon Devices, USA), tienen una función de calibración que relacionan la humedad de suelo con la permitividad aparente; sin embargo, para mejorar la precisión, se recomienda realizar una calibración específica del suelo (González Teruel et al., 2019). Para la calibración se relacionó la humedad de suelo y los bits del sensor (Figura 2c).

Se validaron las mediciones del sensor de humedad de suelo instalado, con el método gravimétrico en el sistema de riego.

Sensor de nivel de altura por ultrasonido

El sensor emite una señal de ultrasonido al espejo de agua, el cual permite obtener la distancia en centímetros, que fue verificada utilizando una regla milimétrica (Montoya, Obando, Morales, & Vargas, 2017) (Figura 2d).

Integración de los códigos de programación

El proceso de integración consistió en unir los códigos de programación desarrollados para cada sensor y actuador, en un solo sketch del software de Entorno de Desarrollo Integrado (IDE) del Arduino, para interactuar con el aplicativo.

Comunicación y desarrollo del aplicativo móvil

Se utilizó el software App Inventor[®] para el desarrollo del aplicativo con el sistema operativo Android[®]. El software se compone de dos secciones: el "Modulo Web", donde se desarrolló un conjunto de vistas de pantalla del aplicativo y el "Editor de Bloques", en la cual se crearon los códigos para el funcionamiento. El lenguaje de programación del editor de bloques, es Java[®]. El software es gratuito y se puede descargar de la Web (Almaraz, Maz Machado, & López Esteban, 2015).

Control y monitoreo

Para verificar el funcionamiento, se realizaron pruebas al sistema de riego automatizado durante un mes; en este periodo se calculó el tiempo de riego en base a la información del sensor de humedad, para el inicio automático del riego. Durante el riego se monitoreó el caudal y presión en el cabezal y las subunidades de riego, el nivel de agua del reservorio, y el valor de humedad antes y después del riego; además se controló la bomba y las electroválvulas.

RESULTADOS

Selección de microcontrolador, sensores, módulo de comunicación y actuadores

En la Figura 3 se muestran los dispositivos vinculados al microcontrolador. La fuente de poder fue de 220 V y se usaron transformadores para obtener un voltaje de 12 V y un amperaje de 1,5 Amperios (A), para el funcionamiento

del microcontrolador y las electroválvulas. Los dispositivos vinculados al microcontrolador suman un total de corriente de consumo de 0,40 A.

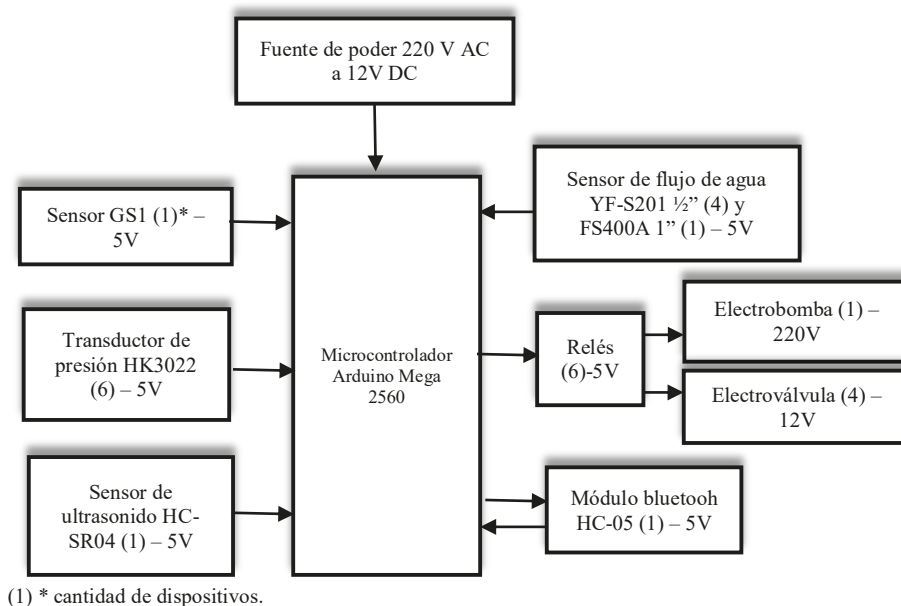


Figura 3. Dispositivos vinculados al microcontrolador.

Calibración y validación de sensores

Transductor de presión

La ecuación de la calibración de los transductores de presión, que relaciona los bits y la presión del manómetro (P_m), fue la siguiente $P_m = 0,128 \text{ bits} - 12,3$ con un coeficiente de determinación (R^2) de 0,99.

Se validó la ecuación de calibración de los transductores (X) con los valores de presión del manómetro (Y) obtenidos en el campo. La ecuación fue lineal: $Y = 1,005 X + 0,04$ y el R^2 fue 0,99. Se calcularon los porcentajes de

error para las mediciones de presión de 20, 15 y 10 m.c.a, que oscilan entre el 1% y el 2,85%.

Sensor de humedad de suelo

La curva de calibración entre la humedad de suelo (hbss) y los bits del sensor, fue lineal, $hbss = 0,054 \text{ bits} + 7,34$; y el R^2 fue 0,95.

La curva de validación del sensor de humedad resultó lineal, donde la humedad del suelo registrada por el sensor es “Y” y la humedad obtenida por el método gravimétrico es “X” $Y = 0,926 X + 3,823$ y el R^2 fue de 0,99.

Sensor de caudal

El sensor utilizado en el cabezal de riego fue de modelo FS400 de 1" y los sensores instalados en las subunidades fueron el modelo YF-201 de 1/2"; por este motivo el factor de corrección "K" difiere; para el diámetro de 1" tuvo un valor de 0,72 y para el diámetro 1/2" tuvo un valor de 1,10, considerando un tiempo en la habilitación de interrupciones de 170 milisegundos.

En la validación se realizaron dos pruebas por cada sensor; la primera al encender el sistema, considerando la existencia de aire en la red de tuberías, el error fue de 4,27% y la segunda, cuando la tubería estuvo llena de agua y sin bolsas de aire, el error fue de 0,39%, se utilizó la subunidad 4.

Sensor de nivel de altura por ultrasonido

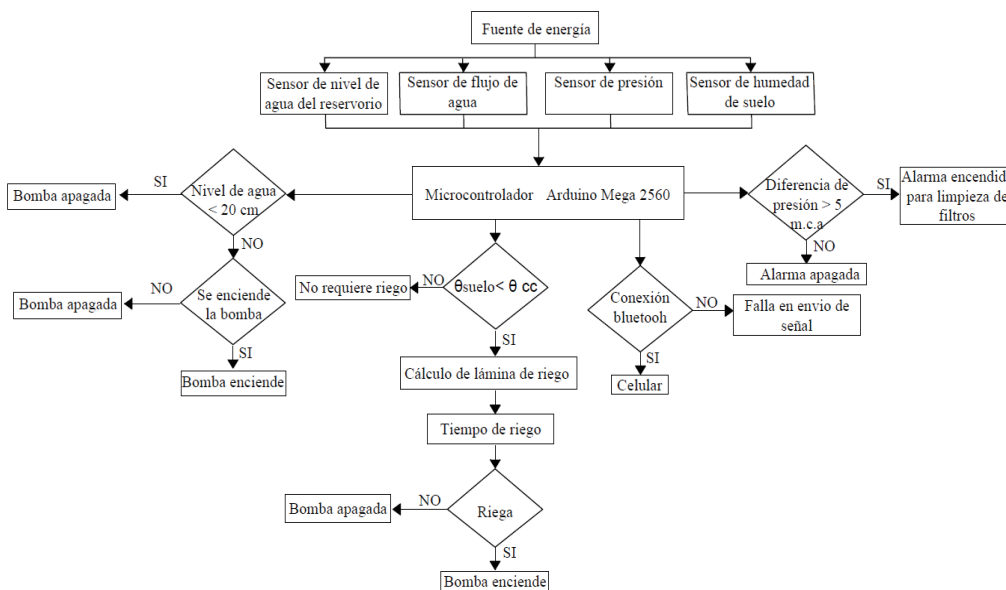
Para la calibración se relacionó la distancia medida por el sensor y los bits. Se calculó el R² igual a 0,99.

Programación del microcontrolador y diseño electrónico

En la Figura 4, se muestra el diagrama de flujo de procesos, los sensores midieron las variables de presión, caudal, humedad de suelo y nivel de altura de agua de la cisterna; estas se definen como variables de entrada y/o salida para la programación. Por seguridad los relés se inicializan en estado apagado (OFF), debido a la disponibilidad de corriente.

Las señales eléctricas de los sensores fueron visualizadas en el monitor serial y luego transformadas en las variables físicas que fueron calibradas y representadas por ecuaciones.

Para el encendido y apagado de la bomba y electroválvulas, se añadieron sentencias condicionales secuenciales de la siguiente manera: Si el monitor serial recibe la señal de encender bomba (ON), si el monitor serial recibe señal de apagar bomba (OFF). Para abrir y cerrar electroválvulas se utilizaron también sentencias condicionales.



*θ: Humedad de suelo, cc: Humedad de suelo a capacidad de campo

Figura 4. Diagrama de flujo de procesos.

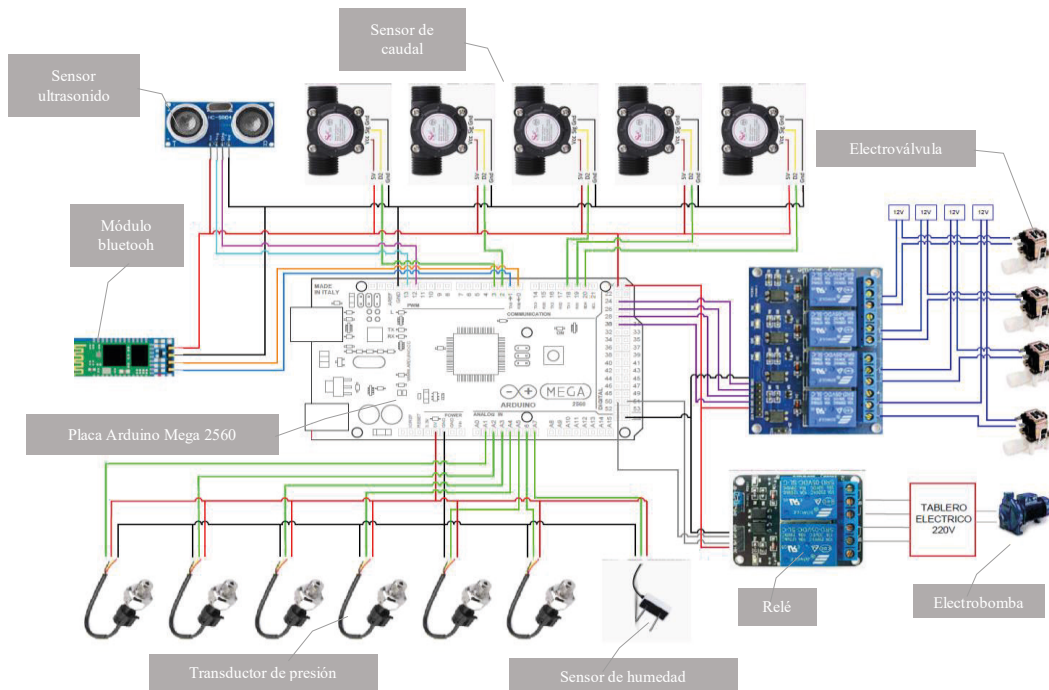


Figura 5. Diseño electrónico.

En la Figura 5 se presenta el diseño electrónico de los sensores, actuadores, relés, electroválvulas, módulo bluetooth y bomba con sus respectivos pines de la placa Arduino Mega 2560.

En el modelo Arduino Mega 2560, los sensores de flujo fueron conectados a los siguientes pines 2, 3, 18, 19, 20 y 21, porque tienen la función de habilitar interrupciones y permiten la medición del número de pulsos.

Interfaces, control y monitoreo

El aplicativo desarrollado permite al usuario el control de la electrobomba, electroválvulas y el monitoreo de la presión, caudal, humedad de suelo y nivel de agua en el reservorio.

En la Figura 6a, se observa la pantalla principal del aplicativo, el usuario se vincula al módulo bluetooth para acceder a las otras interfaces. En las figuras 6b, 6c, 6d y 6e, se presentan las interfaces correspondientes al monitoreo de: presiones y caudales en el cabezal y

subunidades de riego; humedad de suelo que permite el cálculo de tiempo de riego; y nivel y volumen de agua en el reservorio.

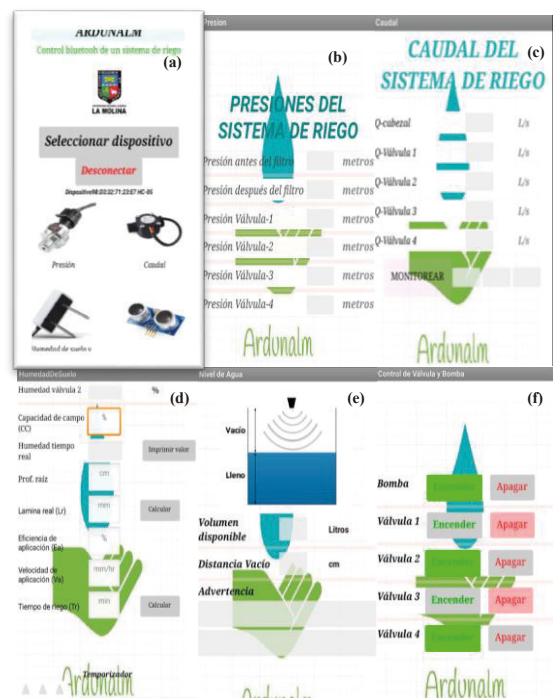


Figura 6. Interfaces (a) pantalla principal, (b) presión, (c) caudal, (d) humedad de suelo, (e) nivel de agua, (f) control de actuadores.

DISCUSIÓN

Se realizó la calibración de los sensores obteniendo valores de R^2 superiores a 0.90 en todas las ecuaciones, estos indican la alta relación directa entre la señal eléctrica enviada por el sensor y la variable física, como la presión, caudal, altura de agua y humedad de suelo. Según otras investigaciones en las que se realizaron calibraciones de sensores de humedad de suelo, se obtuvieron valores de R^2 mayores a 0.80 (Adeyemi, Norton, Grove, & Peets, 2016; Datta et al., 2018; Jiang, Lv, Deng, & Zhai, 2017). Según Shadadpuri Goplani (2018), calibró el sensor ultrasonido HC-SR0, donde se reportó que el R^2 fue igual a 1, esto corrobora la buena precisión de este sensor.

En la validación del sensor de humedad de suelo se obtuvo el porcentaje de error de 2% lo cual está dentro de límites permisibles para el monitoreo de humedad de suelo.

En la validación del transductor de presión, el porcentaje de error fue entre 1% y 2,85%, lo cual es aceptable; además, el monitoreo de la presión permitió determinar el momento de la limpieza de los filtros y garantizó la presión mínima en la subunidad de riego.

El monitoreo del caudal en tiempo real, es necesario para detectar posibles fugas de agua u obstrucción de los goteros. El sensor de flujo de agua de efecto Hall, en comparación con otros tipos de medidores, ofrece mayor precisión y es económico (Sood, Kaur, & Lenka, 2013).

La utilidad del sensor de ultrasonido es evitar que la electrobomba trabaje sin agua; asimismo, permite controlar los niveles mínimos, máximos y el volumen de agua disponible en el reservorio (Ankit Kumar, Chanchal, Kumar,

Kumar, & Mansoori, 2016), lo que permitió conocer la disponibilidad de agua en el RGS para su correcta operación.

La capacidad de pines de entrada digitales (54) y analógicas (16) del microcontrolador Arduino Mega 2560, permite utilizar mayor número y tipos de sensores, además posee un software de libre acceso e intuitivo para la programación. La automatización tuvo un costo de 669 dólares.

El aplicativo desarrollado llamado "Ardunalm" tiene la finalidad de recibir y enviar información mediante el módulo de comunicación bluetooth HC-05, facilitando la gestión del riego para el ahorro del agua.

CONCLUSIONES

El microcontrolador Arduino Mega 2560 ofrece compatibilidad con los sensores, actuadores y módulo de comunicación utilizados. Los sensores fueron calibrados obteniendo los R^2 entre 0,95 - 0,99, indicando una alta correlación entre la variable física y eléctrica; asimismo, el valor de R^2 igual a 0,99, para la validación de los transductores de presión, sensor de humedad y sensor de nivel de altura; y los factores de conversión promedio para el sensor de caudal de 1" y ½", fueron 0,72 y 1,1 respectivamente.

Se desarrollaron los códigos de programación que integraron a todos los componentes utilizados. El aplicativo móvil denominado "Ardunalm" permite interactuar con todos los dispositivos a través de su integración en un sketch Arduino utilizando un módulo Bluetooth, de esta manera es posible controlar desde el aplicativo móvil, el accionamiento de la electrobomba y electroválvulas, además de visualizar los valores monitoreados por los sensores instalados.

Los microcontroladores y sensores de bajo costo, disponibles en el mercado son accesibles para los pequeños productores urbanos y rurales. El uso de estos dispositivos electrónicos requiere la calibración y validación con equipos testeados y métodos directos probados que servirán como estándares de referencia. La calibración y validación de los sensores permitió el desarrollo de la automatización integrada, confiable y segura para el monitoreo y control del sistema de riego, además es posible lograr el ahorro del recurso hídrico, el incremento de la eficiencia de riego; y la mejora del rendimiento y calidad del cultivo.

Se recomienda desarrollar normas técnicas peruanas que incluyan protocolos para la calibración y validación de sensores utilizados en los sistemas de riego como: sensor de presión, caudal, nivel de altura y humedad.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos al Dr. Edwin Martin Pino Vargas, por las correcciones y la revisión del trabajo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adeyemi, O., Norton, T., Grove, I., & Peets, S. (2016). Performance Evaluation of Three Newly Developed Soil Moisture Sensors. *CIGR-AgEng Conference*, 1–10. https://www.researchgate.net/publication/312383380_Performance_Evaluation_of_Three_Newly_Developed_Soil_Moisture_Sensors
- Al-Omary, A., AlSabbagh, H. M., & Al-Rizzo, H. (2018). Cloud based IoT for Smart Garden Watering System using Arduino Uno. *Smart Cities Symposium 2018*, (April), 249–254.
- Almaraz, F., Maz Machado, A., & López Esteban, C. (2015). Tecnología móvil y enseñanza de las matemáticas: una experiencia de aplicación de App Inventor. *Revista de Educación Matemática*, 32(91), 77–86. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5589286>
- Arduino. (2019). Retrieved June 3, 2019, from <https://www.arduino.cc/en/Main/Software>
- Canales-Ide, F., Zubelzu, S., & Rodríguez-Sinobas, L. (2019). Irrigation systems in smart cities coping with water scarcity: The case of valdebebas, Madrid (Spain). *Journal of Environmental Management*, 247(December 2018), 187–195. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.06.062>
- Datta, S., Taghvaeian, S., Ochsner, T. E., Moriasi, D., Gowda, P., & Steiner, J. L. (2018). Performance assessment of five different soil moisture sensors under irrigated field conditions in Oklahoma. *Sensors*, 18(11), 1–17. <https://doi.org/10.3390/s18113786>
- Goap, A., Sharma, D., Shukla, A. K., & Rama Krishna, C. (2018). An IoT based smart irrigation management system using Machine learning and open source technologies. *Computers and Electronics in Agriculture*, 155(May), 41–49. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.09.040>
- González Teruel, J. D., Torres Sánchez, R., Blaya Ros, P. J., Toledo Moreo, A. B., Jiménez Buendía, M., & Soto Valles, F. (2019). Design and Calibration of a Low-Cost SDI-12 Soil Moisture Sensor. *Sensors*, 19(3), 1–16. <https://doi.org/10.3390/s19030491>
- Hong, G. Z., & Hsieh, C. L. (2016). Application of Integrated Control Strategy and Bluetooth for Irrigating Romaine Lettuce in Greenhouse. *International Federation of Automatic Control*, 49(16),

- 381–386. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.10.070>
- Ingale, H., & Kasat, N. (2012). Automated Irrigation System. *International Journal of Engineering Research and Development*, 4(11), 51–54. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.375.4377&rep=rep1&type=pdf>
- Jiang, M., Lv, M., Deng, Z., & Zhai, G. (2017). A wireless soil moisture sensor powered by solar energy. *PLOS ONE*, 12(9), 1–11. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0184125>
- Khandoba, R., & Jyoti, G. (2017). Smart Drip Irrigation System Using Raspberry Pi and Arduino. *Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering*, 28–35. <https://doi.org/10.1109/CCAA.2015.7148526>
- Kim, Y., Avenue, N. C., Evans, R. G., Engineer, A., Avenue, N. C., & Pierce, F. J. (2006). Instrumentation and Control for Wireless Sensor Network for Automated Irrigation. *2006 ASABE Annual International Meeting*. <https://doi.org/10.13031/2013.20618>
- Kumar, Abhishek, & Magesh, S. (2017). Automated Irrigation System Based on Soil Moisture Using Arduino. *International Journal of Pure and Applied Mathematics*, 116(21), 319–323. Retrieved from <http://www.ijpam.eu>
- Kumar, Ankit, Chanchal, A., Kumar, A., Kumar, D., & Mansoori, F. (2016). Arduino Uno Based Automatic Plant Watering System. *International Journal of Scientific Research and Management Studies*, 2(12), 487–492.
- Mayhua López, E., Ludeña Choez, J., Tamayo Bedregal, J., Cuba Reyes, M., Núñez Zambrano, Á., Gonzales Ale, N., & Lozada Herrera, D. (2015). Sistema de riego por goteo automático utilizando una red de sensores inalámbricos. *Revista de Investigación Arequipa*, 7, 69–92.
- Montoya, A. P., Obando, F. A., Morales, J. G., & Vargas, G. (2017). Automatic aeroponic irrigation system based on Arduino's platform. *5th Colombian Conference of Engineering Physics*, 850(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/850/1/012003>
- Ojha, M., Mohite, S., Kathole, S., & Tarware, D. (2016). Microcontroller Based Automatic Plant Watering System. *International Journal of Computer Science and Engineering*, 8(3), 25–36. <https://doi.org/10.5958/0976-5506.2017.00488.0>
- Ortiz, D., Litvin, A. G., & Salas Fernandez, M. G. (2018). A cost-effective and customizable automated irrigation system for precise high-throughput phenotyping in drought stress studies. *PLOS ONE*, 13(6), 1–16. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0198546>
- Reddy, A. M., & Rao, K. R. (2016). An Android based Automatic Irrigation System using a WSN and GPRS Module. *Journal of Science and Technology*, 9, 1–6. <https://doi.org/10.17485/ijst/2016/v9i29/98719>
- Rivas Sánchez, Y. A., Moreno Pérez, M. F., & Roldán Cañas, J. (2019). Environment control with low-cost microcontrollers and microprocessors: Application for green walls. *Sustainability*, 11(3), 1–17. <https://doi.org/10.3390/su11030782>
- Shadadpuri Goplani, S. (2018). *Analisis, caracterizacion y calibracion de sensores de bajo coste para Arduino* (Universidad de La Laguna). <https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/10280/Analisis%20CaracterizacionyCalibracion%20de%20sensores%20de%20bajo%20coste%20para%20Arduino.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Shakoor, A., Khan Mehmood, Z., Ahmad, M., & Wajid, A. (2016). Design

- and Calibration of Semi-Automated Irrigation System Based on Soil Moisture Sensor. *1st National Conference on Agricultural Engineering and Sciences*. <https://www.researchgate.net/publication/306323891%0ADESIGN>
- Sood, R., Kaur, M., & Lenka, H. (2013). Design and Development of Automatic Water Flow Meter. *International Journal of Computer Science, Engineering and Applications (IJCSEA)*, 3(3), 49–59. <https://doi.org/10.5121/ijcsea.2013.3306>
- Sui, R. (2016). Use of Soil Moisture Sensors for Irrigation Scheduling. *Irrigation Show & Education Conference, Dec 5-9, 2016, Las Vegas Convention Center, Las Vegas, Nevada, USA*, 1–6.
- Suresh, N., Balaji, E., Anto, K., & Jenith, J. (2014). Raspberry pi based liquid flow monitoring and control. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 3(07), 122–125. Retrieved from <http://www.ijret.org>
- Tt, A., Saji, J., Dubey, R., & Saravanakumar, K. (2017). Food Computer Automated Gardening System. *International Journal of Trend in Research and Development*, 38–39.