

# Development of an automated residential irrigation system

## Desarrollo de un sistema de riego residencial automatizado

Alejandro Ismael Negrete Borjas<sup>\*1</sup>, Raúl Teodoro Aquino Santos<sup>1</sup>, Margarita Glenda Mayoral Baldivia<sup>1</sup>, Omar Álvarez Cárdenas<sup>1</sup>, and Rafael Julio Macedo Barragán<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad de Colima (UCOL), Facultad de Telemática, Maestría en Tecnologías de Internet, Av. Universidad No. 333, Col. Las Víboras, Colima, Col, México, 28040.

{alejandro\_negrete, aquinor, mglenda, xe1aom}@ucol.mx

<sup>2</sup>Universidad de Colima (UCOL), Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Km. 40. Autopista Colima-Manzanillo, Tecomán, Col, México, 28100.

macedo@ucol.mx

### Abstract

The scarcity and the growing need of water resources is one of humanity's most critical problems. Urban development, climate change, population growth, water pollution and changes in consumption patterns have contributed to an imbalance between the availability of quality sources and the demand for water. The uncontrolled or disproportionate irrigation in green areas and residential gardens can represent an unnecessary waste and in view of this, it is important to develop technologies focused on their saving and efficient use. Therefore, the present study proposes a prototype of a monitoring system for residential irrigation that, using soil humidity and temperature sensors, allows the automatic administration of water just when it is required by the plants, avoiding its waste, and contributing to its efficient use.

**Keywords**— Urban irrigation, Internet of the Things, irrigation monitoring system, soil moisture sensor.

### Resumen

La escasez de recursos hídricos, asociada a la creciente necesidad de agua, es uno de los problemas más críticos de la humanidad. El desarrollo urbano, el cambio climático, el crecimiento demográfico, la contaminación del agua y los cambios en los patrones de consumo han contribuido a un desequilibrio entre la disponibilidad de fuentes hídricas de calidad y la demanda de

agua. El riego no controlado o desproporcionado en áreas verdes y jardines residenciales puede representar un desperdicio innecesario y ante esto, es importante desarrollar tecnologías enfocadas en su ahorro y uso eficiente. Por lo tanto, el presente trabajo propone un prototipo de sistema de monitoreo para riego residencial que mediante el uso de sensores de humedad y temperatura del suelo permita la administración automática del agua justo en el momento en que esta sea requerida por las plantas evitando su desperdicio y contribuyendo a su uso eficiente.

**Palabras clave**— Riego urbano, Internet de las Cosas, sistema de monitoreo de riego, sensor de humedad del suelo.

### I. Introducción

La escasez de recursos hídricos, asociada a la creciente necesidad de agua, es uno de los problemas más críticos de la humanidad. El desarrollo urbano, el cambio climático, el crecimiento demográfico, la contaminación del agua y los cambios en los patrones de consumo han contribuido a un desequilibrio entre la disponibilidad de fuentes hídricas de calidad y la demanda de agua [1].

Uno de los usos primordiales de este líquido son las actividades agrícolas, en las cuales se ha observado el desarrollo de tecnología para eficientizar su uso y obtener un mayor desempeño de los cultivos. Un sistema de riego adecuado aporta la cantidad necesaria de agua en el momento que se necesita, humedeciendo el suelo hasta

\* Autor de correspondencia

la profundidad que requiera el cultivo [2, 3].

Por su parte, la jardinería y agricultura urbana utiliza para el crecimiento de las plantas una cantidad significativa de agua proveniente de la red municipal [4] cuyo costo además, suele ser mayor que el agua agrícola ya que ha sido tratada siguiendo los estándares del agua potable [5], por lo que el uso eficiente del agua suministrada por la red municipal en zonas urbanas es un objetivo prioritario.

Aunado a lo anterior, el riego en la jardinería urbana se realiza en su gran mayoría siguiendo técnicas tradicionales, ya que la mayoría de los jardineros o sistemas de riego convencionales administran el agua de riego de manera uniforme sin considerar la variabilidad espacial y temporal en el contenido de agua del suelo, lo que se traduce en una baja eficiencia en el uso del agua y vuelve imperativo el desarrollo de tecnología para lograr su uso eficiente [6].

Recientemente, se han desarrollado sistemas de riego que integran el monitoreo de la humedad y la temperatura del suelo como un mecanismo para el control del riego, considerando una previsión de precipitación de hasta 3 días y priorizando el riego por la noche y durante los períodos de viento suave para obtener un riego más preciso y eficiente. Estos sistemas utilizan la comunicación inalámbrica entre los módulos, los sensores y una estación base, siendo la decisión de riego tomada por un sistema implementado en una computadora central [7, 8, 9, 10, 11].

Bajo este contexto, el objetivo del presente proyecto es desarrollar un sistema de monitoreo para un sistema de riego residencial que por medio del uso de sensores y del Internet de las cosas (IoT) permita eficientizar el uso del agua.

El artículo se organiza de la siguiente manera: en la sección II se describe la estación de monitoreo, comenzando por la arquitectura del hardware y software que describen la parte fundamental del sistema de monitoreo, además de mencionar los materiales y herramientas utilizados. En la sección III se describe la parte web implementada al momento de la realización de este trabajo. En la sección IV se describen los resultados obtenidos hasta el momento de la publicación del documento, y las conclusiones que se han obtenido en base al análisis de estos.

## II. Estación de monitoreo: Arquitectura de hardware y software

La estación de monitoreo es un sistema embebido que cuenta con autonomía al decidir cuándo activará el riego al momento que el valor de humedad capturado sea menor al valor mínimo establecido. El sistema embebido es la parte fundamental de la estación de monitoreo, ya

que en ella se realizará todo el procesamiento y toma de decisiones para el funcionamiento del sistema de riego y la comunicación con el servidor y los usuarios.

### II.1. Arquitectura de hardware

El sistema embebido que forma parte del sistema de monitoreo está compuesto por los módulos descritos en la Fig. 1. La placa utilizada para el procesamiento es un NodeMCU v1.0/v3, la cual tiene integrado el módulo ESP-12 (que a su vez integra el SoC ESP8266 con su módulo WiFi), esto nos permite establecer una conexión a internet para el envío de datos. Además, contiene pines de alimentación para la conexión con los sensores y relevadores para el accionamiento del actuador, lo que nos permite un monitoreo continuo y automático. De igual manera contiene un conversor serie-USB para poder programar y proporcionar alimentación a la placa por medio del puerto USB.

Los sensores que se utilizaron para el monitoreo de riego fueron seleccionados en base a su capacidad y durabilidad, los cuales se enlistan a continuación:

- Sensor de humedad capacitivo
- Sensor de temperatura
- Sensor de flujo

Antes de utilizar al sensor de humedad, es necesario su calibración para obtener las lecturas correspondientes, por medio de su entrada analógica, haciendo uso del puerto serial a una velocidad de 9600 baudios.

El actuador que se utilizará para el accionamiento del riego será una válvula solenoide.

La estación de monitoreo está compuesta primeramente por la zona donde los sensores obtendrán los datos de humedad del suelo y temperatura, colocados estratégicamente en un punto del área seleccionada dentro del jardín (Fig. 2). El área electrónica que forma parte del sistema embebido está protegido con un gabinete NEMA3, diseñado para brindar protección ante líquidos, polvo y humedad.

El procedimiento que realiza el sistema embebido para la toma de muestras, almacenamiento y envío de la información es el siguiente: Al accionar el interruptor principal se conecta la fuente de alimentación de 12 V, que nos permite alimentar a la válvula solenoide, así mismo se alimenta a un pequeño módulo que nos arroja una alimentación de 5 V y este a su vez alimenta al módulo de relevadores y a la placa principal iniciando la configuración de los sensores y del actuador. Inmediatamente los sensores inician el procedimiento para obtener los parámetros esperados, haciendo tomas cada 60 minutos, los cuales son empaquetados mediante el protocolo MQTT (Message Queue Telemetry Transport) y enviados hacia el servidor web para su posterior visualización y consulta. Hasta que el valor de humedad sea igual o menor al

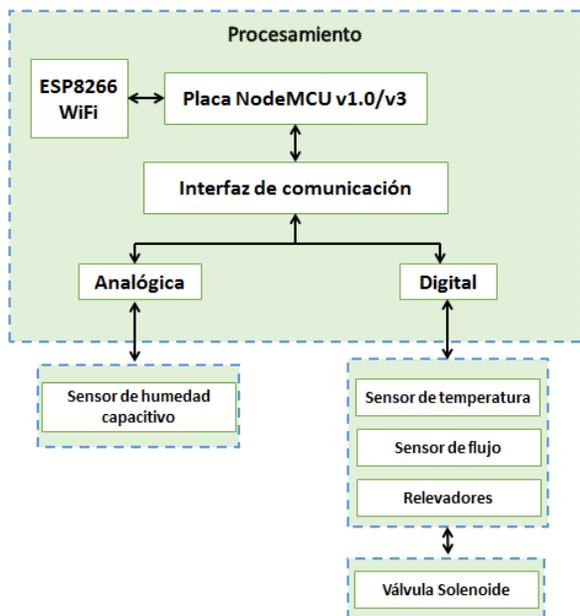


Figura 1: Arquitectura del sistema de monitoreo



Figura 2: Zona de obtención de datos



Figura 3: Sensor de flujo y electroválvula

70 %, el sistema embebido mandará activar el módulo relevador para que permita el paso de alimentación de la válvula solenoide, su activación y el paso del agua hacia los aspersores principales y secundarios del área de estudio.

## II.2. Arquitectura de software

El software que se implementó en el sistema embebido se programó utilizando un lenguaje de programación de medio nivel que es una variante de C++ empleado en el IDE de Arduino, este programa permite recibir los datos proporcionados por el sensor analógico de humedad, el sensor digital de temperatura y el sensor de flujo (la ubicación del sensor se muestra en la Fig. 3), al mismo tiempo, se está realizando el envío de la información para su registro y consulta.

En la programación del sistema embebido se utilizaron las siguientes librerías para configurar la placa utilizada:

- WiFi.h
- ESP8266WiFi.h
- PubSubClient.h

La librería ESP8266WIFI.h permite establecer la conexión con la red WiFi configurando los datos necesarios para su enlace.

La librería PubSubClient permite a la placa embebida se comporte como un cliente MQTT, lo que significa que puede publicar mensajes y suscribirse a un “topic” para que pueda recibir mensajes, de esta manera interactuar con el envío de datos.

Al trabajar con el sensor de temperatura DS18B20 tenemos que utilizar la librería OneWire.h, la cual nos permite indicarle al sensor a través de que pin se debe comunicar con el sistema embebido y de esa manera estar enviando información a la placa.

## II.3. Herramientas de software y materiales

A continuación, se enlistan las herramientas de software utilizadas en el desarrollo del sistema de monitoreo

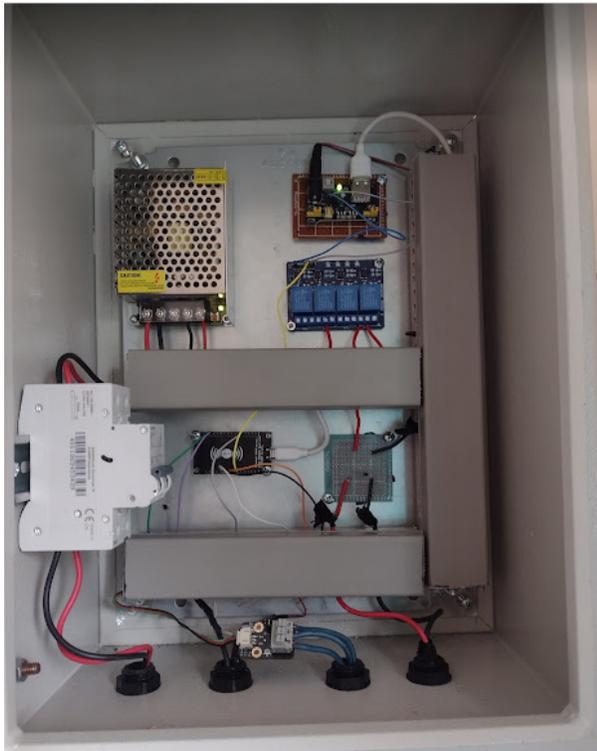


Figura 4: Gabinete de la estación de monitoreo

(Fig. 4):

- Arduino IDE: Este software nos permite una programación del sistema embebido para la estación de monitoreo, mediante la programación en C++.
- Visual Studio Code: Este programa nos permite administrar y programar el sistema web, abarcando desde el servidor hasta la página web.
- Node JS: Este framework nos permite el uso libre y gratuito de distintas librerías para el desarrollo del sistema web, utilizando de manera conjunta otros lenguajes como javascript, HTML Y CSS.
- CLOUDMQTT: Es una aplicación que nos permite el envío y visualización de las tramas MQTT transmitidas por la estación principal hacia el servidor.
- Explorador de Internet Google Chrome: En esta aplicación se visualizarán los resultados del sistema web.
- POSTMAN: Es una aplicación bastante útil para la utilización de métodos HTTP para la configuración de la web API.
- GITHUB: Herramienta indispensable para la gestión de las versiones de código generadas en las distintas etapas de desarrollo, tanto de la arquitectura de software del sistema embebido como del servidor y respectivo sistema de visualización web.
- AZURE: Con la versión gratuita de prueba para estudiantes de la universidad de colima es posible subir todo lo referente al servidor y sistema de visualiza-

ción web a la nube para crear la prueba de concepto necesaria para cumplir con los requerimientos del proyecto.

Dentro de los materiales utilizados en la construcción de la infraestructura de hardware para el sistema de monitoreo, se contó con lo siguiente:

- Kit de soldadura (Plusivo Kit)
- Kit de herramientas eléctricas manuales ( pinzas para corte, pelador de cable)
- Kit o placa de desarrollo NodeMCU v1.0/v3
- Sensor de temperatura digital
- Sensor de humedad del suelo capacitivo
- Sensor de flujo YF-S201
- Módulo de relevadores relay 4 canales
- Electroválvula solenoide de 12 V
- Fuente conmutada de alimentación 12 V, 5 A, 60 W
- Fuente de alimentación Mb-102 3.3 V, 5 V
- Gabinete eléctrico NEMA 3
- Multímetro
- Agua destilada
- Alcohol isopropílico
- Glándulas de 3/4 pulgadas de nylon
- Manguera transparente 20 metros de 1/2 pulgada de diámetro
- Adaptador de acero al carbón de 1/2 pulgada
- Reducción de 3/4 a 1/2 pulgada
- Abrazadera para manguera
- Cinta teflón industrial
- Flexómetro
- Cinta aislante
- Cable calibre 14 y calibre 16

### III. Sistema Web

Para la visualización de los datos de monitoreo se tiene funcionando un entorno web que se realizó con la implementación de las tecnologías enlistadas a continuación:

- HTML
- CSS
- JavaScript
- Node JS

Este entorno web está conformado por una ventana principal de inicio (Fig. 5), una ventana de monitoreo (Fig. 6) donde el usuario este visualizando los valores de humedad y temperatura que se obtengan registrados en el instante de su consulta. Además, indicará si el sistema de riego esté funcionando o se encuentra deshabilitado al igual que el flujo de agua que se esté consumiendo cuando el sistema se encuentre activado (Fig. 7).

Para poder enlazar los datos obtenidos y poder visualizarlos en la plataforma web, requerimos de un servidor



Figura 5: Entorno web, página de inicio



Figura 7: Área de aplicación



Figura 6: Entorno web, ventana de monitoreo

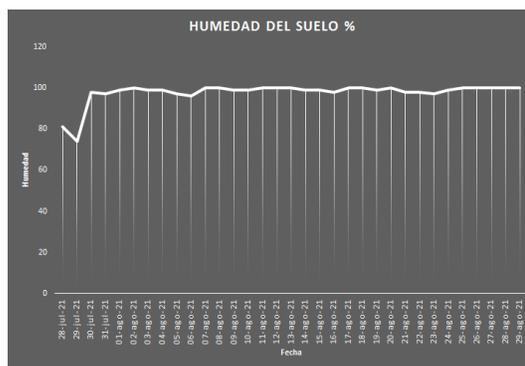


Figura 8: Humedad del suelo a las 14:00 pm

quien se encarga de administrar las peticiones que realice la aplicación web y con el apoyo de un middleware, estar obteniendo las tramas MQTT que provienen del sistema de monitoreo que contendrá la información referente a la humedad, temperatura del suelo y flujo en formato JSON, para su almacenamiento en una base de datos NO-SQL gestionada por los servicios gratuitos de MongoDB. El servidor se encuentra alojado en la nube en la plataforma Microsoft Azure.

Se está trabajando en el diseño de la ventana de registros para poder visualizar todos los registros realizados durante el día de monitoreo, así como acceder al monitoreo realizado en semanas anteriores.

#### IV. Resultados

La información fue recabada por el sistema de monitoreo, obteniendo los registros de humedad del suelo y temperatura, en un rango de muestreo de 1 captura por hora. Esto se determinó como resultado de las pruebas realizadas en la toma de datos cada 10 minutos, donde se observó que no existían cambios considerables en los valores obtenidos, empezando a visualizar un cambio de lecturas aproximadamente cada 50 y 70 minutos, dejando como tiempo fijo de captura un promedio de 60 minutos. En total se realizaron 24 tomas por día durante un tiempo de 1 mes. El tiempo de prueba se realizó entre los meses de julio y agosto, meses en los cuales se presenta el temporal de lluvia.

La información obtenida se puede acceder a ella a través del sitio web donde el usuario puede consultar estos datos recabados.

Realizando diversas pruebas para determinar el rango mínimo de humedad permisible que puede tener el pasto de jardín residencial antes de comenzar con el marchitamiento de las hojas, se fijó como valor mínimo aceptable un 70% de humedad; por lo tanto, cuando el nivel de humedad baje de este valor se activará el sistema de riego.

Tomando de ejemplo el registro de humedad y temperatura a las 14:00 horas durante el periodo de prueba, se encontró que la humedad disminuye por debajo del valor mínimo el día 29 de julio, teniendo una tendencia anterior de disminución, por lo cual el sistema de riego se activó en transcurso de ese día y logra alcanzar un valor del 100% de humedad el día siguiente (Fig. 8). Posteriormente, se observa una tendencia positiva de humedad en los días posteriores cercana al 100%, lo cual en ese tiempo no se activó el sistema de riego por coincidir lluvia durante la mayoría de los días de prueba.

La temperatura dependerá del nivel de radiación solar emitida, ya que en los días que se presentó lluvia constante por fenómenos meteorológicos inusuales, la temperatura tendió a disminuir respecto a los días donde el sol se mantenía constante (Fig. 9).

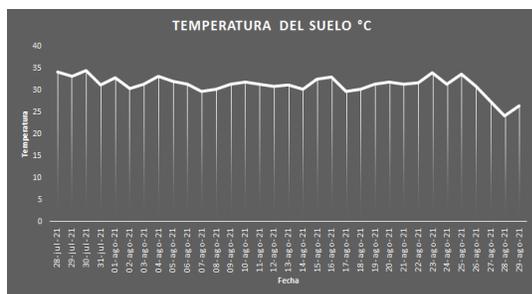


Figura 9: Temperatura del suelo a las 14:00 pm

El rango de humedad recabada durante el mes de estudio se vio influenciado en los días que hubo presencia de lluvia, presentándose este fenómeno en la mayoría de los días, provocando que se mantuviera la humedad en valores óptimos en donde no se activó el sistema de riego al permanecer la humedad arriba del valor de referencia mínimo, logrando con esto tener un ahorro al no consumir agua por no activarse el sistema de riego.

A partir de los resultados descritos, es posible observar que este sistema de monitoreo de la humedad y temperatura del suelo permite la aplicación del agua justo en el momento y solo durante el periodo de tiempo requerido por las plantas. Esto permite el ahorro de grandes cantidades de agua e incrementa de manera importante la eficiencia en su uso.

## V. Conclusiones

El desarrollo de un sistema de riego residencial monitoreado por medio de sensores de humedad y temperatura del suelo permitió realizar el riego de las áreas verdes en el momento adecuado y permitió el ahorro y uso eficiente del agua, logrando con esto un mejor desempeño en el área de aplicación y mayor eficiencia en el recurso hídrico ahorrado.

## VI. Trabajo futuro

Se tiene contemplado como trabajo futuro terminar la parte web de registros para su consulta y visualización, así como implementar una mejor vista en las ventanas de la aplicación.

## Referencias

[1] Bradley Jorgensen, Michelle Graymore y Kevin O'Toole. «Household water use behavior: An integrated model». En: *Journal of environmental management* 91.1 (2009), págs. 227-236.

[2] Catalina López Martínez, Valentín Gavidia Catalán, Juan Rueda Sevilla y col. «Agua!!» En: *Madrid: Ministerio de Educación y Ciencia, Centro de investigación y documentación educativa* (2006).

[3] «En la agricultura, los sistemas de riego son utilizados para un aprovechamiento óptimo del agua». En: SIAP. 2018. URL: <https://www.gob.mx/siap/articulos/en-la-agricultura-los-sistemas-de-riego-son-utilizados-para-un-ahorro-de-agua> ? idiom=es.

[4] Raju Sharma Dhakal y col. «Sustainable water management for urban agriculture, gardens and public open space irrigation: A case study in Perth». En: *J. Blum (ed) Urban Horticulture: Ecology, Landscape, and Agriculture* (2015), págs. 149-148.

[5] Janett Nolasco. *Sustainable water management for urban agriculture: Planting justice, oakland*. Inf. téc. CA: Working Paper Pacific Institute, 2011.

[6] Jhoniers Guerrero Erazo y Ana María Ocampo Cruz Deibys Gildardo Manco Silva. «Eficiencia en el consumo de agua de uso residencial». En: *Revista de Ingenierías: Universidad de Medellín* 11.21 (2012), págs. 23-38.

[7] Yunseop Kim, Robert G Evans y William M Iversen. «Remote sensing and control of an irrigation system using a distributed wireless sensor network». En: *IEEE transactions on instrumentation and measurement* 57.7 (2008), págs. 1379-1387.

[8] Zhang Feng. «Research on water-saving irrigation automatic control system based on internet of things». En: *2011 International Conference on Electric Information and Control Engineering*. IEEE. 2011, págs. 2541-2544.

[9] Filipe Caetano, Rui Pitarma y Pedro Reis. «Intelligent management of urban garden irrigation». En: *2014 9th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI)*. IEEE. 2014, págs. 1-6.

[10] Ioannis Gravalos y col. «A robotic irrigation system for urban gardening and agriculture». En: *Journal of Agricultural Engineering* 50.4 (2019), págs. 198-207.

[11] Antonio Valente y Carlos Serôdio Raul Morais. «A wireless sensor network for smart irrigation and environmental monitoring: A position article». En: *En: 5th European Federation for Information Technology in Agriculture, Food and Environment - 3rd World Congress on Computers in Agriculture and Natural Resources*. EFITA. 2013, págs. 845-850.