

INTERNET DE LAS COSAS (IoT), UNA ALTERNATIVA PARA EL CUIDADO DEL AGUA

*INTERNET OF THINGS (IoT), AN ALTERNATIVE FOR THE CARE OF
WATER*

Francisco Javier Ruiz Ortega

TecNM / Instituto Tecnológico de Torreón
ruiz6812@hotmail.com

Karina Esquivel Murillo

TecNM / Instituto Tecnológico de Torreón
kem_1885@hotmail.com

Dora Ofelia Rodríguez Martínez

TecNM / Instituto Tecnológico de Torreón
dora_ofelia@yahoo.com

María Estela Rodríguez Torres

TecNM / Instituto Tecnológico de Torreón
e_rodriguez1977@hotmail.com

Rosario Duarte Ramírez

TecNM / Instituto Tecnológico de Torreón
rduarter@hotmail.com

Resumen

Desde que Arquímedes inventó su tornillo para trasladar el agua cuesta arriba y los romanos construyeron sus acueductos, el ser humano ha intentado manipular el recurso más apreciado de la tierra mediante el uso de la tecnología. Muchos han soñado con hacer que los desiertos florezcan. Ahora, con la población mundial superando los siete mil millones y la demanda de agua en niveles sin precedentes, las nuevas tecnologías están ayudando a hacer uso más inteligente de este recurso natural esencial para la vida. En la producción agrícola, el riego es fundamental para una cosecha exitosa, pues la aplicación de agua durante el desarrollo del cultivo influye en su rendimiento y calidad de los frutos. Los vegetales están compuestos entre un 80 y 95% de agua. Por eso son tan susceptibles a retrasar su madurez y reducir su rendimiento cuando el daño por falta de agua ocurre al principio de su

desarrollo o afectar su calidad cuando padecen estrés hídrico en las últimas etapas de desarrollo. Los métodos tradicionales empleados en la agricultura de precisión, generan grandes pérdidas para los agricultores. En el presente artículo se describe el diseño, elaboración e implementación de un sistema de riego empleando hardware y software libre, sensores, actuadores, telefonía móvil y servidores web, con el fin de crear un ambiente apropiado para que el Internet de las Cosas (IoT) y la Agricultura de Precisión ofrezcan al usuario una plataforma amigable para el monitoreo y control del riego en un invernadero inteligente.

Palabra(s) Clave: Arduino, Agricultura de precisión, Internet de las cosas, Sensores.

Abstract

Since Archimedes invented his screw to move the water uphill and the Romans built their aqueducts, the human being has tried to manipulate the most appreciated resource on earth through the use of technology. Many have dreamed of making deserts flourish. Now, with the world population exceeding seven billion and the demand for water at unprecedented levels, new technologies are helping to make smarter use of this essential natural resource for life. In the agricultural production, the irrigation is fundamental for a successful harvest, because the application of water during the development of the crop influences in his performance and quality of the fruit. The vegetables are composed between 80 and 95% of water. That is why they are so susceptible to delaying their maturity and reducing their yield when damage due to lack of water occurs at the beginning of their development or affect their quality when they suffer water stress in the later stages of development. The traditional methods used in precision agriculture generate large losses for farmers. This article describes the design, development and implementation of an irrigation system using hardware and free software, sensors, actuators, mobile telephony and web servers, in order to create an appropriate environment for the Internet of Things (IoT) and Precision Agriculture offer the user a friendly platform for the monitoring and control of irrigation in a smart greenhouse.

Keywords: Arduino, Internet of Things, Precision Farming, Sensors.

1. Introducción

La Enciclopedia Libre Wikipedia publica que se denomina Sistema de riego o perímetro de riego, al conjunto de estructuras, que hace posible que una determinada área pueda ser cultivada con la aplicación del agua necesaria a las plantas. El sistema de riego consta de una serie de componentes y estos depende del tipo de sistema, riego por aspersión, goteo, superficial (principalmente en su variante de riego por inundación) y en algunos casos puede ser complejo según el terreno donde esté instalado [Nations, F., 2002]. Estos sistemas de riego son usados especialmente en el sector agrícola, aunque en casa pueden ser alternativas a la hora de regar el jardín [Isern, *et al.*, 2018].

Los sistemas de riego están compuestos por diferentes elementos como mangueras o tuberías, según sea el caso; válvulas de paso y motobombas, que permiten el flujo de agua a través del sistema hacia el cultivo o terreno a regar [Cruz, 2008]. Anteriormente el Internet se usaba principalmente como herramienta para buscar información. En los últimos años se ha vivido una nueva revolución en la web, donde todo se ha convertido en social, transaccional y móvil [Pastor, 2013]. En el artículo "Internet de las cosas: Objetos interconectados y dispositivos inteligentes", se afirma en la publicación del 2013, que la sociedad está inmersa en una nueva revolución tecnológica llamada Internet de las Cosas (Internet of Things, IoT). Evans [2011] establece que el Internet de las cosas (IoT) es la capacidad de crear conexión entre objeto, procesos y personas a través de Internet, logrando una interconexión, permitiendo compartir información y almacenarla si se desea en grandes bases de datos creadas para tal fin, permitiendo un control y acceso a esta información desde cualquier parte del mundo, con el simple hecho de tener acceso a Internet.

La agricultura de precisión es un campo fértil en el que el IoT se puede implementar, esto se puede lograr aplicando las nuevas tecnologías emergentes de información y comunicación (TICs) en conjunto con sensores, actuadores y una plataforma para el IoT, para lograr una buena administración y manejo de los cultivos, tomando en cuenta las variables y propiedades que son importantes a fin de mejorar su rendimiento y rentabilidad, sin olvidar el cuidado del medio ambiente [Bari, *et al.*, 2013].

En los últimos 100 años la población mundial se ha triplicado, y con ello la necesidad de agua ha crecido de manera exponencial. En 2011, World Water Council establece que, existen seis grandes problemas relacionados con el agua:

- La escasez.
- falta de disponibilidad.
- baja calidad.
- la poca o nula conciencia del ser humano.
- la falta de voluntad política en la asignación de recursos financieros.
- la falta de coordinación entre los diferentes organismos administradores del vital líquido.

Conagua establece en 2011, que, la disponibilidad de agua promedio anual en el mundo es de aproximadamente 1386 millones de km³, de los cuales el 97.5% es agua salada y solo el 2.5%, es decir 35 millones de km³, es agua dulce, pero de esta cantidad, aproximadamente el 70% no está disponible para consumo humano debido a que se encuentra en forma de glaciares, nieve o hielo. En un estudio realizado en 2007, Samuel T. Coleridge, encontró que, en los últimos años, la escasez y racionamiento de agua se ha convertido en una gran problemática que está afectando a muchos países del mundo. En México se tiene un total aproximado al 0,1% del agua dulce a nivel mundial, lo cual es determinante para que un porcentaje importante del territorio (56%) sea catalogado como semiárido y se clasifique como un país con baja disponibilidad de agua, característica de la zona norte del país, la cual ocupa aproximadamente el 50% de la superficie. Mientras que, en frontera sur del país, la disponibilidad promedio es mayor a 24000 m³/habitante/año, en la región del río Bravo no llega a los 1500 m³/habitante/año y en Baja California es alrededor de los 1100 m³/habitante/año [Olvera-Salgado, *et al.* 2014].

Entre las principales dificultades para la tecnificación del riego se encuentran: los altos costos de acondicionamiento de la infraestructura de riego; la baja eficiencia de conducción y distribución debido a problemas de manejo del agua, el uso inapropiado de la red de canales y grandes superficies sembrada, la baja eficiencia

de aplicación por falta de capacitación del regador con respecto al manejo y necesidades de agua del cultivo.

En 2013, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), establece que la agricultura representa un 70% del uso de agua potable en el mundo, y por ende, es la actividad que requiere mayor demanda de la misma; además, gran parte de esta agua se pierde por causa de algunos fenómenos naturales o ambientales como es el efecto del sol y la percolación profunda, etc [Allen *et al.*, 2006]. Por lo que la innovación en tecnología en los sistemas de riego se ha convertido en una prioridad en los tiempos modernos, con el fin de volver más eficiente la producción agrícola y al mismo tiempo, ahorrar el vital líquido.

2. Métodos

Para el diseño del sistema de riego basado en el Internet de las Cosas (IoT), se procedió a revisar el estado del arte, posteriormente se identificaron los componentes y las tecnologías existentes con el objetivo de determinar las herramientas idóneas según los requerimientos planteados en el caso de estudio de la Agricultura de Precisión y en afinidad con la comunidad científica. Para la construcción de un sistema de telemetría aplicado a la agricultura de precisión aplicado a un sistema de riego específicamente dentro de un invernadero, este debe contar con: sensores (para el monitoreo de variables como:

- humedad del suelo radiación solar, humedad relativa, temperatura, dirección y velocidad del viento, etc.).
- Actuadores para el control del riego.
- Servidor en la nube.

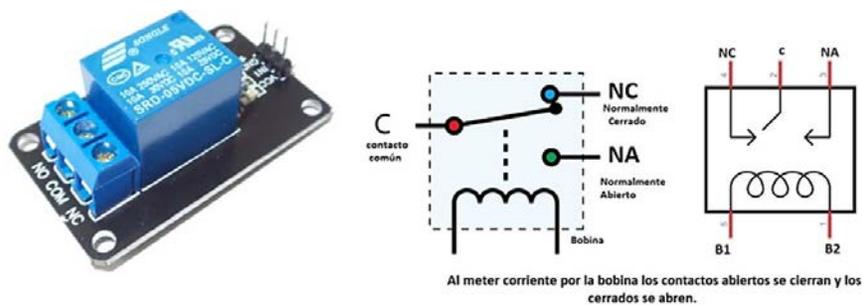
Toda la información recogida de los sensores debe ser almacenada y gestionada por la aplicación informática de telemetría y estar disponible para el usuario final desde cualquier lugar donde la necesite para la generación de reportes, análisis y toma de decisiones, monitoreo y control de eventos. En el diseño del sistema de riego, se tomaron en cuenta algunos criterios para seleccionar la tecnología a utilizar: Estandarización, Escalabilidad, Accesibilidad, Datos en tiempo real,

Flexibilidad, Bajo costo. Tomando en cuenta lo anterior, se utilizaron los siguientes sensores:

- Sensor de temperatura DB18S20 y humedad relativa DHT11: los datos obtenidos por los sensores de (temperatura y humedad relativa) están programados con un periodo entre mediciones de cinco minutos.
- Sensor de humedad del suelo YL-69: En este caso los datos reportados están con un periodo entre mediciones de cinco minutos, y la unidad de control cuenta con un límite de humedad a partir del cual debe activarse el sistema de riego.

Para el caso de los actuadores específicamente para el sistema de riego y tomando en cuenta que los pines de salida de Arduino suministran una corriente máxima de 40 mA, es necesario amplificar dichas señales. Suponiendo que el sistema en mención opera con una tensión de 110 V, la forma de poder lanzar el sistema será utilizando un relé conectado al pin de salida correspondientes. Así, se puede emplear un módulo simple de relés como el que se muestra en la figura 1 [Iberobotics, 2018]. Junto con su esquema eléctrico, donde en una placa preparada a tal efecto con los opto-acopladores, transistores y resistencias precisas, se han montado un relé SDR-05VDC-SL-C.

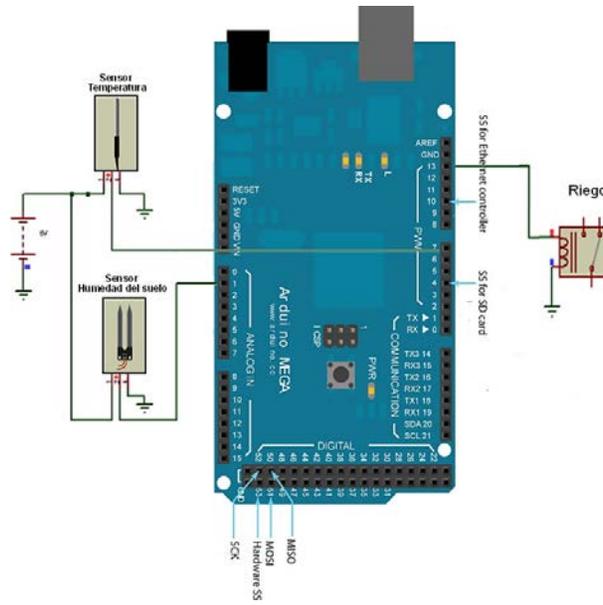
Diseño del circuito.



Fuente: [Iberobotics, 2018].

Figura 1 Módulo relé simple y esquema eléctrico.

Esta parte del sistema consiste en un circuito muy simple, como puede verse en la figura 2. De este modo, basta con conectar los sensores que se comentaron anteriormente, junto con el relé que se encarga de accionar el sistema de riego.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2 Diagrama de conexión entradas y salidas de sensores y actuadores.

Cabe mencionar que las conexiones son muy elementales, donde aparte de la alimentación de ambos sensores (5 VDD), simplemente se ha conectado a los pines (7) digital y analógicos (A1) de entrada de Arduino. De igual modo, se aprecia que la salida de la placa Arduino empleada es el pin digital 13, que es el encargado de activar el relé del sistema de riego, al poner un valor alto (5 V). Este se activará en caso de que el sensor de humedad del suelo envíe un valor inferior al establecido en el programa o cuando el usuario lo active de forma manual. Una vez finalizado el desarrollo del sistema de monitorización y automatización, el siguiente paso es dotar al sistema de las comunicaciones que permitan conocer los valores medidos y poder interactuar de forma remota. Para ello, se empleará la tecnología GSM/GPRS, de forma que el usuario pueda interactuar con el sistema. GSM (*Group Special Mobile*) Se trata de un estándar de comunicaciones, también denominado a partir de 1991 como Sistema Global de comunicaciones Móviles, que a lo largo de diferentes fases ha ido evolucionando dentro de lo que se ha denominado como telefonía móvil de segunda generación. En Europa, el estándar GSM usa las bandas de frecuencia de 900 y 1800 MHz. Sin embargo, en los Estados Unidos se usa la banda de frecuencia de 1900 MHz. Por ello, los teléfonos portátiles que funcionan tanto en Europa como en los Estados Unidos se llaman tribanda y

aquellos que funcionan sólo en Europa se denominan bibanda. Por un lado, el estándar GSM soporta un tráfico máximo de 9.6 kbps, que permite transmisiones de voz y de datos digitales de volumen bajo: mensajes de texto (SMS, Servicio de mensajes cortos) o mensajes multimedia (MMS, Servicio de mensajes multimedia) del estándar GSM (Sistema Global de Comunicaciones Móviles).

En la figura 3 se presenta el módulo Sim900, este shield GSM/GPRS está basado en el módulo SIMCOM SIM900 y es compatible con Arduino y sus clones. Permite la conectividad a través de la red celular, envío de SMS, MMS, GPRS y Audio a través de UART comandos AT. También tiene 12 GPIOs, 2 PWMs y un ADC que viene con el módulo SIM900 (lógica de 2.8 V).



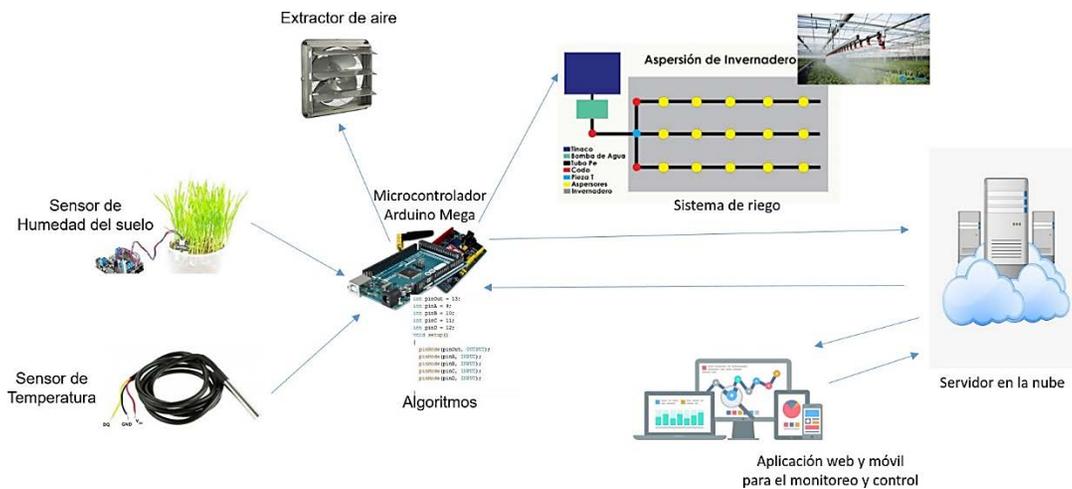
Fuente: [AFEL, 2018].

Figura 3 Módulo GPRS SIM900 Homologado.

Para programar las funcionalidades del módulo sim900 se requiere emplear comandos AT y pese a que la lista de estos comandos es bastante extensa, en este caso se emplearán los que se detallan en [SIM Com, 2018]. Se procede a realizar pruebas de operación del sim900 por medio de código para Arduino, el cual permite que el sistema pueda comunicarse con el exterior. Una vez probado el buen funcionamiento del sim900, se procede a diseñar y desarrollar el circuito y software controlador del sistema de riego. Para comprobar que el sistema funciona se han añadido los sensores para la monitorización de los parámetros. Así mismo, se han incluido una serie de leds para simular las salidas del sistema de riego y unos testigos para visualizar sucesos durante la ejecución.

3. Resultados

Para dar solución al caso de estudio se planteó la arquitectura del sistema de telemetría y control presentado en la figura 4. En ella se puede apreciar la red de sensores y actuadores, encargada de tomar las mediciones del cultivo y por medio de los actuadores, controlar los elementos del sistema de riego.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4 Arquitectura general planteada para el sistema de telemetría y control.

En el modelo conceptual se puede observar la Cloud Computing propuesta, la cual está formada por uno o varios servidores físicos o lógicos, que implementan los servicios web que proporcionan el soporte para la aplicación informática de telemetría que se encarga del monitoreo, control, generación de eventos, análisis y presentación de la información al usuario final vía web y/o móvil, componentes necesarios para el Cloud Computing. Para diseñar el Cloud Computing para el Internet de las Cosas (IoT) se han definido los siguientes componentes: Servidor Web, Plataformas de desarrollo Web, Base de datos, Protocolos de comunicación, Sistema Operativo. Se desarrolló el servicio web para la recepción de la información en la nube, el modelo de base de datos utilizando MySQL, el prototipo transmisor y control que está conformado por, Arduino Mega 2560 R3 y el módulo Sim900 GPRS/GSM para lo cual el arduino recibe los valores de los sensores de humedad del suelo, humedad relativa y temperatura, instalados dentro del invernadero, para ser transmitidos a través de un servicio web, por medio del módulo sim900 y

procesados con la finalidad de tomar decisiones de cuándo y cuánto regar. Para el control del sistema, se desarrolló una aplicación web que se muestra en la figura 5.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5 Aplicación web.

Desde la aplicación se pueden observar gráficas de temperatura y porcentaje de humedad del suelo, realizar el control del riego y se deja el planteamiento para que pueda crecer de forma modular. También se desarrolló una aplicación móvil para Android, en la cual se presentan las gráficas de temperatura y porcentaje de humedad del suelo, esta cuenta con un control de encendido y apagado del sistema de riego, presentada en la figura 6.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 6 Aplicación móvil para el control del sistema de riego.

Se logró implementar un prototipo de arquitectura para el IoT de bajo costo. Utilizando esta tecnología emergente fue posible optimizar el uso del recurso agua reduciendo la cantidad aplicada al cultivo de tomate, el volumen bruto aplicado por planta en todo el ciclo fue de 145 litros, con una productividad de 30 kg/m³ de agua y un rendimiento por superficie de 20 kg/m², estos dependen del tipo de sistema de riego entre otras variables involucradas, logrando con ello un ahorro en los costos de producción y contribuyendo a una agricultura ambientalmente responsable.

4. Discusión

El desarrollo regional está fuertemente basado en la agricultura, por ende, es necesario el desarrollo de herramientas como los sistemas automatizados de riego para el uso eficiente del agua, pues como es evidente en la actualidad la escasez de agua a nivel mundial es una realidad y con ello los problemas que esto acarrea son inmensos en el sector agrícola. Aunque en el mercado actual se encuentren sistemas autónomos y automatizados, la gran mayoría de ellos son difíciles de acceder debido al elevado costo económico que presentan, por esto se hace necesario el desarrollo de sistemas similares tratando de disminuir sustancialmente el costo para ponerlo a disposición de la sociedad. Con el pasar de los años, la situación respecto al agua irá empeorando creando problemáticas en todos los campos, y el sector agrícola no es ajeno a ello, es por esto que urgen soluciones que ayuden a mejorar la eficiencia en lo que respecta al uso eficiente del agua, siendo la agricultura de precisión y las tecnologías emergentes una buena alternativa.

Con el desarrollo de la investigación se buscó ampliar los conocimientos sobre el Internet de las cosas, los avances tecnológicos, el rol que desempeña en la actualidad en el área agrícola y las alternativas del uso y aprovechamiento del agua. Se analizaron diferentes enfoques sobre la agricultura de precisión, buscando comprender su funcionamiento y su interacción con el Internet de las cosas, relacionándolos con las variables que involucra un sistema de riego. Con ello se obtienen las siguientes conclusiones:

- En la actualidad la tecnología ofrece diferentes alternativas de bajo costo.

- El Internet de las cosas está teniendo un gran impacto en la agricultura de precisión empleando tecnologías emergentes.
- Se tiene que apoyar el área agrícola con los avances tecnológicos y la responsabilidad social, por eso cada vez se busca que esta actividad no solo beneficie al ser humano sino también al medio ambiente.

5. Bibliografía y Referencias

- [1] AFEL. (2018) Shield GSM / GPRS SIM900 Homologado: <http://bit.ly/2pvLhju>.
- [2] Allen, R., Pereira, L., Smith, M., y Raes, D. (2006). Evapotranspiración del cultivo Guías para la determinación de los requisitos del agua de los cultivos: <http://bit.ly/2xxAMR0>.
- [3] Bari, N., Mani, G., y Berkovich, S. (2013). Internet de las cosas como un concepto metodológico (pp. 48-55).
- [4] Conagua. (2011). Agua en el mundo. Conagua, 113-126.
- [5] Cruz, S. (2008). Sistemas de riego y sus componentes (pp. 49-52).
- [6] Edusalud.Org. (s.f.). La problemática del agua en México y el mundo. México: Autor: <https://goo.gl/ckp7eo>.
- [7] Estándar GSM (Sistema global de comunicaciones móviles): <http://bit.ly/2xG07ro>.
- [8] Evans, Dave. (2011). Internet de las cosas Cómo la próxima evolución de Internet lo cambia todo: <http://bit.ly/2O1qDG2>.
- [9] FAO. (2013). Afrontar la escasez de agua Un marco de acción para la agricultura y la seguridad alimentaria. Recuperado de <http://bit.ly/2OLDHw4>
- [10] Iberobotics (2018) Módulo Relé simple y esquema eléctrico: <http://bit.ly/2pxxmt6>.
- [11] Isern, D., Moreno, A., y Abelló, S. (2018). Desarrollo de una plataforma de simulación de sistemas multi-agente para la programación de riego con estudios de casos para el riego de jardines (87ª ed., Pp. 1-13) Comput. Electrón. Agric.
- [12] Nations, F. (2002). El cultivo protegido en clima mediterráneo (p. 334). Food & Agriculture Organi.

- [13] Olvera-Salgado, M. D., Bahena-Delgado, G., Alpuche Garcés, Óscar, & García Matías, F. (2014). La tecnificación del riego ante la escasez del agua para la generación de alimentos. Estudio de caso en Chihuahua, México. *Ambiente y Desarrollo*, 18(35), 23-36. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.AyD18-35.trea>.
- [14] Pastor, A. (2013). Obtenido de Problemas de Agua en Latinoamérica. (2013): <http://bit.ly/2NB6d74>.
- [15] SIM Com. (s.f.). SIM900_AT CommandManual_ V1.03. [Manual de usuario]: <http://bit.ly/2xNqr34>.
- [16] Wikipedia. (2018, 15 octubre). Sistema de riego - Wikipedia, la enciclopedia libre: <https://es.wikipedia.org/w>.
- [17] World Water Council. (2011). Problemas de Agua en Latinoamérica: <http://n9.cl/r6Ti>.