

# Automatización de riego y fertilización mediante el uso de red inalámbrica de sensores

Marlon R. Navia Mendoza<sup>1</sup>, Manuel Macías Ramirez<sup>1,2</sup>.

<sup>1</sup>Grupo de Investigación SISCO, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

<sup>2</sup>Programa de Maestría en Tecnologías de la Información, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

[mnaviam@espam.edu.ec](mailto:mnaviam@espam.edu.ec), [colorado\\_maestro@hotmail.com](mailto:colorado_maestro@hotmail.com)

## Resumen

El riego y la fertilización de cultivos son actividades fundamentales para la producción agrícola, y la realización adecuada de los mismos puede incidir en el nivel de productividad del campo. En este trabajo se presenta una implementación de un sistema automatizado de riego y fertilización, mediante el uso de una red inalámbrica de sensores, que tiene como propósito la optimización del uso de recursos hídricos y de abono. Para el desarrollo del sistema se utilizó la metodología EDER, que está enfocada en proyectos de infraestructura tecnológica. Se analizaron los dispositivos existentes en el mercado para automatización, seleccionando las placas Arduino para realizar el proyecto planteado, y dispositivos XBee para la comunicación inalámbrica entre los nodos. Posteriormente se realizó el diseño del sistema, que incluye nodos sensores inalámbricos de alcance medio. La implementación del sistema se realizó con base en el diseño y los materiales considerados. Se realizaron las pruebas de funcionamiento respectivas, tanto a nivel funcional como de la duración de la batería. La autonomía estima del nodo le permite trabajar varios días (al menos 108.7h sin recibir luz solar). Se realizó también una estimación económica de retorno de la inversión. Al final, se obtuvo un sistema autónomo de bajo costo, que puede realizar el riego y la fertilización de plantas, de acuerdo a parámetros de condiciones del suelo, previamente configurados, con una buena duración de la batería de los nodos inalámbricos de sensores.

**Palabras clave:** cultivo, sistema de riego, fertilización automatizada, microcontrolador.

## Abstract

Irrigation and fertilization of crops are fundamental activities for agricultural production, and the proper realization of them can affect the level of productivity of the country. This paper presents an implementation of an automated irrigation and fertilization system, through the use of a wireless sensor network, which aims to optimize the use of water resources and fertilizer. For the development of this system, the EDER methodology was used, which is focused on technological

infrastructure projects. The existing devices in the market for automation were analyzed, selecting the Arduino boards to implement the proposed project, and XBee devices for wireless communication between nodes. Subsequently, the system design was performed, which includes mid-range wireless sensor nodes. The implementation of the system was carried out based on the design and the materials considered. The respective function tests were performed, both at the functional level and the battery life. The estimated autonomy of the node allows it to work several days (at least 108.7h without receiving sunlight). An economic estimate of return on investment was also made. In the end, a low-cost autonomous system was obtained, which could perform the irrigation and fertilization of plants, according to parameters of soil conditions, previously configured, with a good battery life of the wireless sensor nodes.

**Keywords:** crops, irrigation system, automated fertilization, microcontroller.

## INTRODUCCIÓN

El uso de la tecnología en el sector agrícola lleva ya muchos años de investigación y desarrollo. Las diferentes disciplinas que comprenden las tecnologías de la información se han aplicado en las diversas tareas y actividades que comprende este sector, desde las actividades de producción primaria, hasta la gestión y análisis de datos, pasando por la automatización de procesos (Li & Zhao, 2010). Dentro de este último aspecto, ya automatización de riego es uno de los aspectos que más se ha investigado, debido a la importancia del uso de los recursos hídricos, no solo por temas de optimización en lugares donde escasea, sino también porque la humedad del suelo puede afectar la productividad de los cultivos (Palacios *et al.*, 2017; Seidel *et al.*, 2017).

Los primeros sistemas computarizados de riego estaban más bien enfocados en el registro de información y control de riego, pero con información previamente obtenida de las condiciones del suelo, que eran ingresadas manualmente al sistema (Mundo & Martínez, 2002) . Posteriormente, los sistemas automatizados de riego empezaron a incorporar la medición en tiempo real de la humedad del suelo (Castro-Popoca *et al.*, 2008; Zotarelli *et al.*, 2011), y al actualmente incorporan otras variables en su funcionamiento registradas mediante sensores (Efimov *et al.*, 2018; González, 2017), que permiten establecer con mayor precisión cuando y cuanto regar.

Actualmente los sistemas automatizados de riego obtienen sus datos mediante Redes Inalámbricas de Sensores (WSN en inglés) o son parte de un sistema basado en el Internet de las Cosas (IoT en inglés); lo que les permite obtener datos de manera más cómoda, tomar en cuenta múltiples variables, e integrar otros elementos al sistema (Delgado *et al.*, 2017; Ojha *et al.*, 2015; Patil & Kale, 2016; Shi *et al.*, 2019).

Aunque existen muchos trabajos sobre automatización de riego con este tipo de tecnologías, el número trabajos encontrados que incluyan la automatización de la fertilización de los cultivos es menor. Existen propuestas en las que la fertilización la realiza un robot, como lo que presentan Shivaprasad *et al.* (2014). En el caso presentado por Dhivya *et al.* (2012) el control del sistema se hace mediante Controladores Lógicos Programables (PLC). Las propuestas de Analuisa & Akintuia (2016) y Borbor (2016) consideran el uso de sensores para el control del riego (es decir para que sea más preciso), al mismo tiempo que se automatiza el proceso de fertilización. Sin embargo, en todos estos casos, los elementos que componen los sistemas tienen su costo, que puede llegar a ser medio o alto en alguno de los casos citados. Además, algunas de estas propuestas consisten en sistemas de sensorización fijos, lo que dificultaría su reutilización en otros campos de cultivo

Es claro que estos sistemas implican mejores ingresos a mediano plazo, por el ahorro en el consumo de agua y el incremento en la producción; pero el costo inicial del sistema puede resultar un poco alto, en especial para los pequeños agricultores. Por lo tanto, cualquiera de estos sistemas podría no ser atractivo para el agricultor local debido a los costos que implica.

Este trabajo presenta una propuesta de automatización de riego y fertilización, que toma en cuenta aspectos de propuestas antes citadas (como el uso de WSN), pero se enfoca en ser de bajo costo y sencillo funcionamiento, y que además pueda ser fácilmente reutilizable.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El prototipo de este sistema de riego y fertilización automatizado se lo desarrolló en la UDIV (Unidad de Docencia, Investigación y Vinculación) de Infraestructura de la Carrera de Computación de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López. Para esto se aplicó la metodología EDER (Morales *et al.*, 2018). Esta metodología, que está enfocada en proyectos tecnológicos de infraestructura, consta de 4 fases, que se ejecutaron de la siguiente manera:

1. **Estudio:** Se definieron tanto los requerimientos del sistema, como de necesidades de los cultivos. Para esto se revisaron trabajos relacionados con el tema, y también se obtuvo información de parte de especialistas, principalmente en lo que respecta al proceso de la fertilización.
2. **Diseño:** Aquí se realizó el esquema respectivo del sistema a implementar, tanto a nivel lógico como funcional, y se definieron los componentes y materiales necesarios para realizar adecuadamente el sistema de riego y fertilización.
3. **Ejecución:** Se adquirieron los componentes para desarrollar el sistema, para configurarlos con base a la necesidad planteada, y a los requisitos de funcionamiento. Se instalaron los componentes del sistema con base en el diseño preliminar realizado en la etapa anterior.
4. **Revisión:** Se realizaron pruebas del sistema, con valores simulados, para poder evaluar su operación de forma rápida. Se ejecutó una retroalimentación del sistema, para mejorar el funcionamiento del mismo. Se implementó el sistema en un área adecuando, validando su funcionamiento.

En el desarrollo del sistema automatizado se utilizó el entorno integrado de desarrollo (IDE) de Arduino, para la programación de los nodos del sistema; y el programa Digi XCTU para la configuración de los elementos de comunicación inalámbrica.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Después de realizar análisis y consultas al respecto, se determinó que el sistema debería cumplir con las siguientes funcionalidades:

- Medir periódicamente la humedad del suelo.
- Activar el riego cuando la humedad del suelo esté debajo un umbral determinado.
- Que el tiempo de riego dure dependiendo del nivel de humedad.
- Activar la fertilización, de acuerdo a lo planificado, en función del tipo de suelo y de las necesidades de la planta.

La activación de riego se puede iniciar en función de la medición de la humedad, mientras que la fertilización depende de características del suelo que no son fáciles de medir en el campo, por lo que es complejo emplear sensores para estimar la correcta fertilización en tiempo real, y esto implicaría un incremento en el costo del sistema. Así mismo, en base al análisis se determinó que el sistema debe tener las siguientes características:

- Los nodos que miden la humedad del suelo deben poder moverse de ubicación, tener una fuente de alimentación de energía autónoma, y comunicar inalámbricamente sus mediciones.
- Debe haber un nodo coordinador que recolecte la información de los sensores, y controle la activación del riego y de la fertilización.
- El costo debe ser relativamente bajo, en comparación con otras propuestas
- Debe poder ser adaptable a distintos sistemas de riego disponibles (aspersión, goteo u otros).

Una vez definidas las características y funcionalidades del sistema, se determinó el esquema de funcionamiento, que se ilustra en la Figura 1. Periódicamente se mide la humedad del suelo. Con esta información se determina si se debe regar o no. El sistema también cuenta el tiempo que pasa (en horas y días) para definir cuándo se debe regar. El funcionamiento del sistema es continuo, solo se apaga si es necesario realizar un mantenimiento.

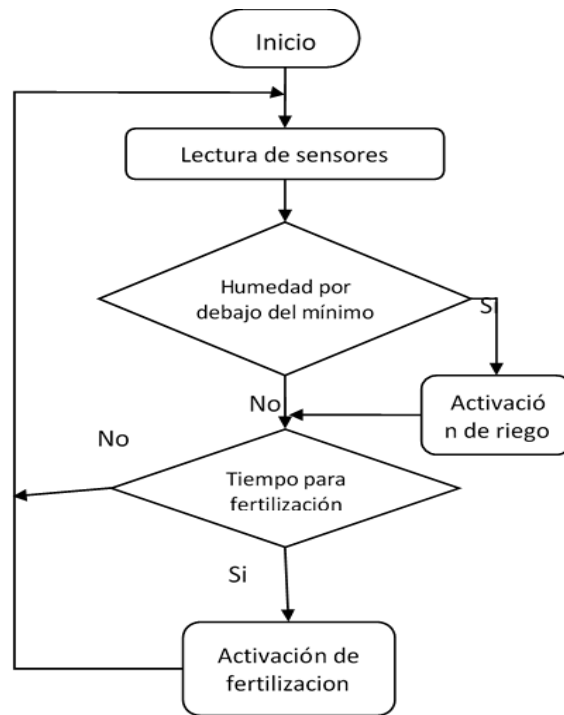


Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de riego y fertilización

Con base en todo esto se diseñó el sistema, que cuenta con tres componentes: Los nodos sensores, que miden la humedad del suelo y transmiten los datos; el nodo coordinador, que recibe los datos, los procesa, y controla la activación del riego y la fertilización; y el sistema eléctrico, que permite controlar las actividades. Estos componentes y su ubicación se ilustran en la Figura 2.

Para la construcción de los nodos sensor y coordinador se utilizó una placa Arduino UNO, un *shield* o adaptador Arduino-Xbee, y un módulo de comunicación Xbee S2C a 2.4GHz. Este último tiene un alcance máximo de aproximadamente un kilómetro, lo que facilita la comunicación a distancia entre los nodos. Los nodos sensores cuentan además con un sensor de humedad de suelo TE2015 que usa el chip LM393, y una batería solar de 5000mAh. El nodo controlador no cuenta con la batería solar, sino que lleva un adaptador de corriente.

El sistema eléctrico puede variar, dependiendo del sistema a automatizar, pero básicamente consta de al menos dos relés, que controlan las tareas a automatizar, y los demás elementos necesarios para poner en marcha el sistema. En el caso del prototipo desarrollado se utilizaron dos electroválvulas, una para el riego y otra

para la fertilización. En caso de realizar riego por sectores, solo es necesario agregar el correspondiente relé y la electroválvula u otro elemento (una bomba por ejemplo) para cada sector.

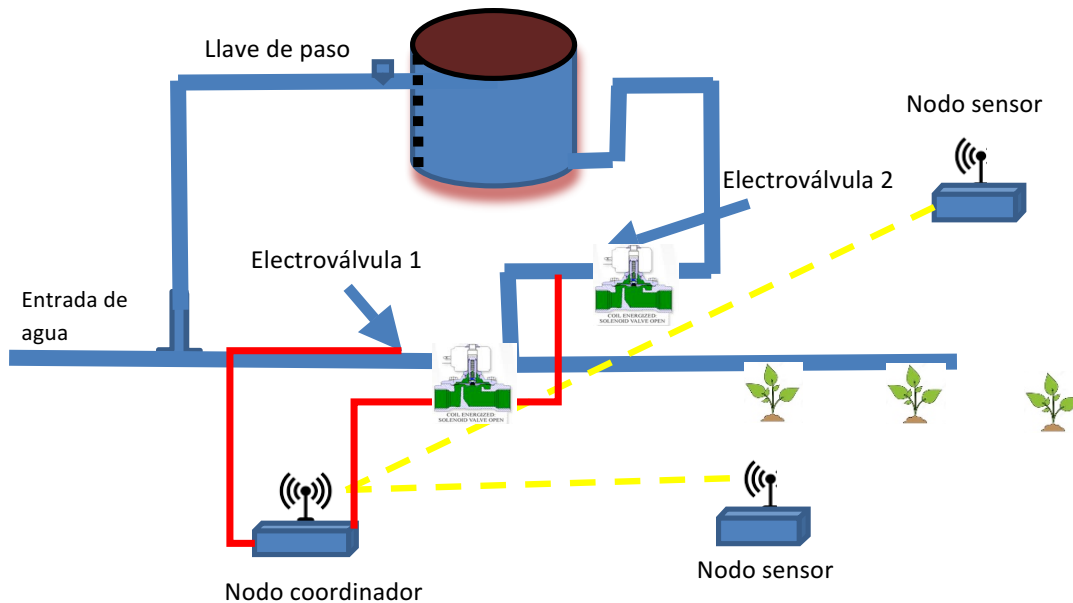


Figura 2. Componentes funcionamiento del sistema automatizado

En la Figura 3 se muestra un nodo sensor con sus partes. Cada nodo sensor está alimentado por una batería solar, que le permite trabajar sin problemas por largos periodos de tiempo. Además, se ha programado el nodo para pasar en modo de bajo consumo mientras no tenga que realizar la medición y transmitir. Las horas de trabajo que brinda la batería del panel solar se calcula mediante la fórmula [1], donde  $t$  es el tiempo de duración de la carga,  $Cap_B$  es la capacidad de la batería en mAh, e  $I_{nodo}$  es el consumo normal del nodo sensor.

$$t = \frac{Cap_B}{I_{nodo}} \quad [1]$$

Dado que la capacidad de la batería cargada es de 5000mAh y el consumo del nodo sensor en modo de bajo consumo es 46mA, con lo cual el cálculo del tiempo quedaría con lo que se consigue una duración estimada de 108.70h sin recargarse. Mayor parte del consumo de este nodo viene del transmisor. Sin el transmisor XBee el consumo se reduce prácticamente a la mitad.

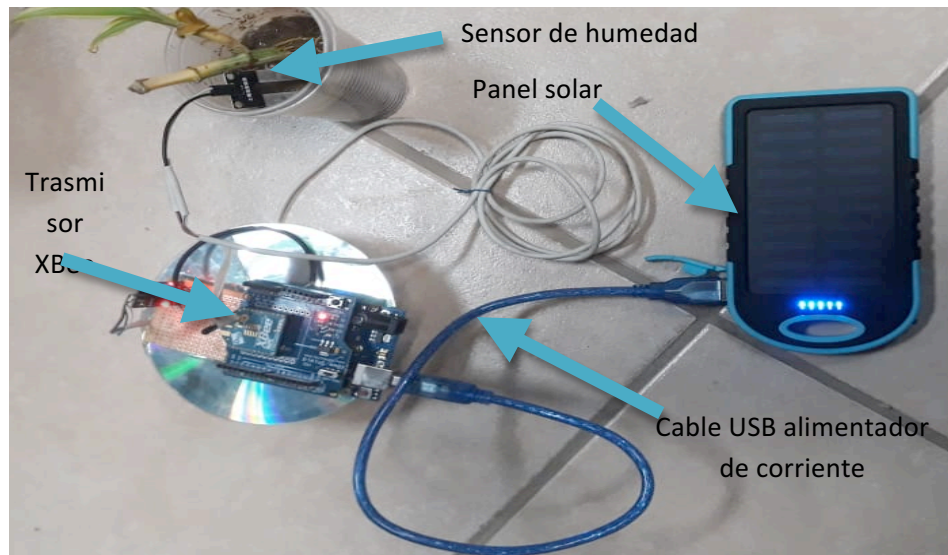


Figura 3. Prototipo del Nodo sensor

El prototipo desarrollado está pensado para un área de cultivo de 1Ha, en la que se incluyen tres nodos sensores. Los nodos sensores miden la humedad cada cierto tiempo (6h en el prototipo) y lo transmiten al coordinador. El coordinador recibe las lecturas (escaladas de 1 a 100) y las promedia. Esto permite tener una mejor cobertura de la medición de humedad en el área de riego.

Con el fin de descartar valores extremos, producidos por el mal funcionamiento de un sensor o condiciones específicas del lugar de donde se ubica el sensor (pero que no son comunes para el resto del área de riego), se puede descartar el valor extremo y realizar la estimación solo con los otros dos. Para esto se verifica la desviación estándar de los tres valores, que no debería ser mayor a 10 (el valor aproximado para una diferencia de 20 unidades en la escala entre el mayor y el menor valor). Si se da este caso, se verifica cual es el valor más extremo, y se descarta para obtener una media truncada. En las pruebas realizadas en un entorno real, no se llegó a tener valores que descartar. Sin embargo, en las pruebas en laboratorio, intencionalmente se hizo que uno de los nodos emitiera un valor diferente al del resto, con lo que se el sistema aplicó el respectivo descarte



En la Tabla 1 se aprecia el costo de los componentes del sistema propuesto. Se consideran tres nodos sensores, el nodo coordinador, y el sistema eléctrico. Todo esto con sus respectivas protecciones para la intemperie.

**Tabla 1.** Costo de componentes del sistema propuesto

| <b>Cantidad</b> | <b>Detalle</b>                                       | <b>Costo unitario</b> | <b>Costo total</b>  |
|-----------------|--|-----------------------|---------------------|
| 4               | Placa Arduino UNO                                    | 12.50                 | 50.00               |
| 4               | Adaptador Arduino-Xbee                               | 9.00                  | 36.00               |
| 4               | Módulo XBee S2C                                      | 42.00                 | 168.00              |
| 3               | Cables USB-MiniUSB para alimentación                 | 4.00                  | 12.00               |
| 3               | Batería Solar de 5000mAh                             | 8.50                  | 25.50               |
| 3               | Sensores de humedad TE2015                           | 3.00                  | 9.00                |
| 2               | Relés  | 7.00                  | 14.00               |
| 2               | Electroválvulas                                      | 13.00                 | 26.00               |
| 1               | Adaptador a 5V DC                                    | 5.00                  | 5.00                |
| 1               | Varios para instalación (cables, protectores, otros) | 40.00                 | 40.00               |
| <b>TOTAL</b>    |  |                       | <b>USD \$385.50</b> |

Este costo es relativamente bajo si lo comparamos con otras propuestas. Por ejemplo, Borbor (2016), en un trabajo similar a este enfocado en plantaciones de cacao y plátano, utiliza equipamiento por más de USD \$500, sin contar los elementos eléctricos. Trabajos como los de (Delgado et al., 2017; Rao & Sridhar, 2018) utilizan la computadora de formato reducido Raspberry Pi modelo B, que tiene un costo superior a la placa Arduino UNO.

El consumo de agua por hectárea varía dependiendo del tipo de cultivo, tipo de suelo, condiciones ambientales, entre otras; por lo que la estimación el tiempo de retorno de la inversión del sistema propuesto va a depender de este factor. Se estima que el costo por metro cúbico (m<sup>3</sup>) de agua ya regado es de aproximadamente USD \$0.06 (Valdivieso, 2017). Así mismo, el ahorro en el uso del agua de riego depende de varios factores. Respecto al ahorro obtenido en un sistema como este, Mayhua-López et al. (2016) obtienen un ahorro del 25.62% del

consumo de agua por hectárea. Liao *et al.*, citado por Shi *et al.* (2019), menciona un ahorro del más del 30% del agua. Otros trabajos mencionan un ahorro del e incluso de alrededor del 50% (Parada & Carrillo, 2014; Velasco *et al.*, 2017), aunque en estos casos este porcentaje depende mucho del sistema de riego utilizado y el usado como referencia en la comparación.

Para estimar el monto del ahorro en el consumo de agua, y en qué tiempo retornaría el costo del sistema automatizado, se tomó como referencia las necesidades hídricas por hectárea de cuatro de los cultivos más comunes en la costa ecuatoriana: cacao, café, plátano, y naranja. Estas necesidades se tomaron del trabajo de (Valdivieso, 2017). Dada la diversidad en los resultados previamente analizados, se tomó un porcentaje de ahorro del 30%

En la Tabla 2 se muestra la estimación del ahorro, tanto en m<sup>3</sup> de agua como en dólares, de acuerdo a los criterios mencionados anteriormente. Se puede ver que en el mejor caso (café) se estima que la inversión realizada retorna prácticamente en un año, mientras que en el peor caso (naranja) en 1.33 años. Obviamente entre mayor sea la necesidad de agua, mayor será el ahorro estimado. Cabe indicar que en este análisis no se ha tomado en cuenta los ingresos adicionales que podría implicar mantener la humedad óptima de acuerdo al tipo de cultivo. Tampoco se ha considerado el ahorro obtenido por la automatización por el proceso de fertilización, lo que implicaría que el tiempo de retorno pueda ser aún menor.

**Tabla 2.** Estimación de ahorro de uso de agua y su equivalente económico

| Cultivo | Necesidad de agua (m <sup>3</sup> /ha al año) | Ahorro estimado (m <sup>3</sup> de agua) | Ahorro estimado (USD) | Tiempo de retorno de inversión (años) |
|---------|---|--|-----------------------|---------------------------------------|
| Cacao   | 19440.0                                       | 5832.0                                   | 349.92                | 1.10                                  |
| Café    | 21120.0                                       | 6336.0                                   | 380.16                | 1.01                                  |
| Plátano | 20992.0                                       | 6297.6                                   | 377.86                | 1.02                                  |
| Naranja | 16106.7                                       | 4832.0                                   | 289.92                | 1.33                                  |

Con base en estos resultados, se puede afirmar que el sistema propuesto es una opción muy adecuada para pequeños productores que quieran optimizar el uso de

agua para riego, con una inversión baja, a la vez que se automatiza las tareas de fertilización.

El uso de las tecnologías en los procesos agrícolas es importante, aunque en muchos casos existe resistencia por parte de los agricultores para implementarlas en sus actividades (Bramley & Ouzman, 2019). Este sistema es una oportunidad para que quienes aún no implementan la tecnología en el campo, sobre todo por temas económicos, lo puedan hacer sin problemas.

## CONCLUSIONES

En este trabajo se ha presentado un sistema automatizado de riego y fertilización, que busca conseguir un mejor uso del agua de riego, a la vez que se automatiza el proceso de fertilización. Los componentes del sistema son de bajo costo.

Los componentes del sistema propuesto pueden reutilizarse con facilidad en otras áreas de cultivo, al conectarse los nodos de forma inalámbrica. Además, en las pruebas realizadas, los componentes han funcionado de forma satisfactoria, por lo que el sistema puede realizar su función de forma esperada.

El costo del sistema es menor que el de otras propuestas. En la estimación del tiempo de retorno de la inversión en relación al monto económico que se ahorra, este depende del tipo de cultivo. De los casos analizados, el que menos tiempo toma es de un año, y el que más es de 1.33 años, por lo que la propuesta es conveniente para los agricultores.

Como ampliación de este trabajo se puede mejorar la estimación de tiempo de retorno, agregando como variable el aumento de la producción por la optimización del riego.

**Agradecimiento:** Este trabajo es parte del proyecto de investigación “Optimización de riego automatizado en cultivos tropicales basado en sensorización del entorno y predicciones climáticas” (CUP 383712), financiado por la ESPAM MFL.

## BIBLIOGRAFÍA

- Analuisa Taipe, E., & Akintuia Puwainchir, H. (2016). *Implementación de un sistema automático para riego y fertilización de zonas verdes en el área de recreación de la Universidad Técnica de Cotopaxi*. Universidad Técnica de Cotopaxi. Retrieved from [repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/319/1/T-UTC-0309.pdf](http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/319/1/T-UTC-0309.pdf)
- Borbor Córdova, B. (2016). *Diseno del prototipo de sistema de control de riego y fertilizacion automatizado de bajo consumo de energia para una plantacion de cacao asociado con platano en la cuenca alta del Guayas*. Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Bramley, R. G. V., & Ouzman, J. (2019). Farmer attitudes to the use of sensors and automation in fertilizer decision-making: nitrogen fertilization in the Australian grains sector. *Precision Agriculture*, 20(1), 157–175. <http://doi.org/10.1007/s11119-018-9589-y>
- Castro-Popoca, M., Águila, M., Quevedo, A., Kleisinger, S., Tijerina, L., & Mejía, E. (2008). Sistema de riego automatizado en tiempo real con balance hídrico, medición de humedad del suelo y lisímetro. *Agricultura Técnica En México*, 34(4), 459–470. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Delgado, I. B., Colorado, L. A. M., Argüello Prada, E. J., & Martínez-Santos, J. C. (2017). Irrigation System for Oil Palm in Colombia - An Internet of Things Approach. In *Agricultural Water Management* (Vol. 187, pp. 300–311). [http://doi.org/10.1007/978-3-319-66963-2\\_27](http://doi.org/10.1007/978-3-319-66963-2_27)
- Dhivya, A., Infanta, J., & Chakrapani, K. (2012). Automated Agricultural Process Using PLC and ZigBee. *Journal of Artificial Intelligence*, 5(4), 170–177. <http://doi.org/10.3923/jai.2012.170.177>
- Efimov, A. E., Sitdikova, Y. R., Dobrokhoto, A. V., & Kozyreva, L. V. (2018). Monitoring Evapotranspiration in an Agricultural Field and Determination of Irrigation Rates and Dates by Automated Mobile Field Agrometeorological Complex. *Water Resources*, 45(1), 133–137.

<http://doi.org/10.1134/S0097807818010086>

- González Medrano, M. Z. (2017). Sistema de riego automatizado. *Revista Iberoamericana de Producción Académica y Gestión Educativa*, 4(8).
- Li, D., & Zhao, C. (2010). *Computer and Computing Technologies in Agriculture III*. (D. Li & C. Zhao, Eds.). Springer.
- Mayhua-López, E., Ludeña-Choez, J., Tamayo-Bedregal, J., Cuba-Reyes, M., Núñez-Zambrano, Á., Gonzales-Ale, N., & Lozada-Herrera, D. (2016). Sistema de riego por goteo automático utilizando una red de sensores inalámbricos. *Revista de Investigación (Arequipa)*, 7, 69–92. Retrieved from <http://ucsp.edu.pe/investigacion/wp-content/uploads/2017/01/4.-Sistema-de-riego-por-goteo-automatico.pdf>
- Morales, J. J., Cedeño, L. C., Parraga-Alava, J. A., & Molina, B. A. (2018). Propuesta Metodológica para Proyectos de Infraestructura Tecnológica en Trabajos de Titulación. *Información Tecnológica*, 29(4), 249–258. <http://doi.org/10.4067/S0718-07642018000400249>
- Mundo Molina, M. D., & Martínez Austria, P. (2002). Sistema computarizado para la gestión del agua en sistemas de riego por gravedad en México. *Ingeniería Del Agua*, 9(2), 171–181. Retrieved from <https://polipapers.upv.es/index.php/IA/article/view/2614>
- Ojha, T., Misra, S., & Raghuwanshi, N. S. (2015). Wireless sensor networks for agriculture: The state-of-the-art in practice and future challenges. *Computers and Electronics in Agriculture*, 118, 66–84. <http://doi.org/10.1016/j.compag.2015.08.011>
- Palacios Mondaca, C. A., Díaz Valdés, T., Plutarco Munguía López, J., Partida Ruvalcaba, L., de Jesús Velásquez Alcaráz, T., & López Valenzuela, B. E. (2017). Relación entre indicadores de desempeño y la calidad del riego utilizando pivote central. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(1), 39–51. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263149891004>

- Parada, J., & Carrillo, J. (2014). Automatización de sistemas de riego: estrategias de control a través de dispositivos móviles. *Revista de Estudios Interdisciplinarios En Ciencias Sociales, Tecnología e Innovación*, 1(1), 138–160.
- Patil, K. A., & Kale, N. R. (2016). A model for smart agriculture using IoT. In *2016 International Conference on Global Trends in Signal Processing, Information Computing and Communication (ICGTSPICC)* (pp. 543–545). IEEE.  
<http://doi.org/10.1109/ICGTSPICC.2016.7955360>
- Rao, R. N., & Sridhar, B. (2018). IoT based smart crop-field monitoring and automation irrigation system. In *2018 2nd International Conference on Inventive Systems and Control (ICISC)* (pp. 478–483). IEEE.  
<http://doi.org/10.1109/ICISC.2018.8399118>
- Seidel, S. J., Werisch, S., Schütze, N., & Laber, H. (2017). Impact of irrigation on plant growth and development of white cabbage. *Agricultural Water Management*, 187, 99–111. <http://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.03.011>
- Shi, X., An, X., Zhao, Q., Liu, H., Xia, L., Sun, X., & Guo, Y. (2019). State-of-the-Art Internet of Things in Protected Agriculture. *Sensors*, 19(8), 1833.  
<http://doi.org/10.3390/s19081833>
- Shivaprasad, B. S., Ravishankara, M. N., & Shoba, B. N. (2014). Design and implementation of seeding and fertilizing agriculture robot. *International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management (IJAIEM)*, 3(6), 251–255.
- Valdivieso López, C. S. (2017, October). *Optimización de la asignación del agua de riego para los cultivos del área de influencia del sistema Carrizal-Chone*. Universitat Politècnica de València. Retrieved from <https://riunet.upv.es/handle/10251/89203>
- Velasco Estrada, L. D. J., Cruz Sánchez, Z. M., Sarmiento Martínez, E. Y., & Díaz Fonseca, B. (2017). Optimización de riego mediante el uso de energía Solar.

*Revista de Ciencias de La UNICACH*, 11(11), 81–84.

Zotarelli, L., Dukes, M. D., Scholberg, J. M. S., Femminella, K., & Muñoz-Carpena, R. (2011). Irrigation Scheduling for Green Bell Peppers Using Capacitance Soil Moisture Sensors. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 137(2), 73–81. [http://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0000281](http://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000281)