

Estación meteorológica inteligente para control de riego y mitigación de heladas

Smart weather station for irrigation control and frost mitigation

Geovany Lupercio¹ <https://orcid.org/0000-0001-9103-3606>,

Alberto Macancela¹ <https://orcid.org/0000-0003-1461-4364>, Eduardo Tacuri² <https://orcid.org/0000-0002-4094-209X>, Lucia Lupercio² <https://orcid.org/0000-0002-4798-6108>

¹Universidad de Cuenca, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Cuenca, Ecuador
glupercio@gmail.com, alberto.macancelah@ucuenca.edu.ec

²Universidad de Cuenca, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Laboratorio de Geomática, Cuenca, Ecuador
eduardo.tacuri@ucuenca.edu.ec, lucia.lupercio@ucuenca.edu.ec



Esta obra está bajo una licencia internacional
Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0.

Enviado: 2022/06/19

Aceptado: 2022/09/21

Publicado: 2022/11/30

Resumen

En la agricultura, el agua es vital para el cultivo. Conocer cuándo regar y cuánto regar se puede responder técnicamente, a partir de datos provistos por estaciones meteorológicas. Estos datos no siempre están disponibles. Además, si bien en el mercado existen controladores de riego, estos no están integrados a las estaciones y son de arquitectura cerrada. Por otro lado, el desarrollo de la electrónica, la disponibilidad de sensores de costo asequible, protocolos, estándares y código abierto, facilitan la integración de componentes de hardware y software. Este trabajo propone un prototipo de estación meteorológica inteligente que provee en tiempo real datos de temperatura, humedad del ambiente, humedad del suelo, lluvia, como entrada para que un controlador active el riego en dos casos: i) por necesidad de agua para el desarrollo del cultivo; o ii) para mitigar heladas, apoyando al desarrollo sostenible agrícola con tecnología local, de código abierto y de costo asequible. Se aplicó la metodología basada en prototipos rápidos, evaluando la operatividad de cada dispositivo electrónico y su integración en ambiente controlado, y luego en una parcela experimental, en la granja Nero de la Universidad de Cuenca. Para el desarrollo se empleó hardware y software de código abierto, utilizando IDE de Arduino y Visual Studio Code. Para energizar se usó un panel solar y baterías, optimizando el consumo energético. Este prototipo ha mostrado un funcionamiento continuo y estable,

Sumario: Introducción, Materiales y Métodos, Resultados y Discusión y Conclusiones.

Como citar: Lupercio, G., Macancela, A., Tacuri, E. & Lupercio, L. (2022). Estación meteorológica inteligente para control de riego y mitigación de heladas. *Revista Tecnológica - Espol*, 34(3), 46-57. <http://www.rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/948>

operando a 3100 m.s.n.m. Se continuará monitoreando y mejorando, para en el futuro poner a disposición de usuario final.

Palabras clave: agricultura sostenible, Arduino, controladora SODAQ, sensores, riego autónomo.

Abstract

In agriculture, water is vital for the crop. Knowing when to irrigate and how much to irrigate can be answered technically from data provided by weather stations. However, this data is not always available. In addition, although irrigation controllers are available on the market, they are not integrated with the stations and have a closed architecture. On the other hand, the development of electronics, the availability of affordable sensors, protocols, standards and open source, facilitate the integration of hardware and software components. This work proposes a prototype of an intelligent weather station that provides real-time data on temperature, ambient humidity, soil moisture, and rainfall, as input for a controller to activate irrigation in two cases: i) due to the need of water for crop development; or ii) to mitigate frost, supporting sustainable agricultural development with local, open source and affordable technology. The methodology was applied based on rapid prototyping, evaluating the operability of each electronic device and its integration in a controlled environment, and then in an experimental plot, at the Nero farm of the University of Cuenca. Open-source hardware and software were used for the development, using Arduino IDE and Visual Studio Code. A solar panel and batteries were used to power the system, optimizing consumption. This prototype has shown continuous and stable operation at 3100 meters over the sea level. It will continue to be monitored and improved, in order to make it available to the end user in the future.

Keywords: sustainable agriculture, Arduino, SODAQ controller, sensors, autonomous irrigation.

Introducción

Muchos de los avances tecnológicos aplicados al área agrícola en los últimos años, tienen como finalidad alcanzar la soberanía alimentaria, lo cual permite cubrir la demanda de alimentos de la población (Iles & Montenegro de Wit, 2018). En Ecuador, el estado es el ente encargado de garantizar la soberanía alimentaria (Vergara Romero & Moreno Silva, 2019). Para aportar a esto, una de las alternativas es la aplicación de las nuevas tecnologías en la agricultura. Dichas tecnologías brindan un amplio abanico de posibilidades y están aplicándose principalmente en el monitoreo y manejo de cultivos, de esta manera se busca mayor productividad (Said Mohamed et al., 2021), mayor rentabilidad y el desarrollo sostenible.

La aplicación de las tecnologías de la información y comunicación (TIC) a la agricultura ha sido denominado agricultura inteligente (Bacco *et al.*, 2019) o tecnologías agrícolas inteligentes (Kerneck *et al.*, 2020); por ejemplo, se puede mencionar el uso de drones, de internet de las cosas, sensores, la georreferenciación, entre otros. La agricultura inteligente trata de conseguir la mayor eficiencia posible en la producción del cultivo al hacer uso de manera sostenible los bienes e insumos (Knierim et al., 2019). Uno de los insumos más importantes para el correcto desarrollo de cualquier cultivo es el agua.

En términos fisiológicos y agrícolas, el agua en la planta tiene como finalidad el abastecer de humedad necesaria para el flujo de nutrientes y la disolución de sales presentes en el suelo, que, a su vez permiten el crecimiento y desarrollo de la planta en un entorno favorable

(Plett *et al.*, 2020; Medrano *et al.*, 2007). Cuando el agua lluvia no es suficiente, se hace necesario contar con un sistema de riego para el óptimo desarrollo del cultivo. Sin embargo, determinar cuándo y cuánto regar en un cultivo, pueden ser preguntas simples de responder técnicamente, siempre y cuando se cuente con la información necesaria. Es decir, para que un sistema de riego pueda brindar la cantidad de agua requerida y en los momentos correctos, se debe conocer ciertas variables edafológicas y agroclimáticas (Taha, 2018), como son la temperatura, precipitación, humedad ambiental, radiación solar, humedad del suelo. Estos datos son capturados por sensores incorporados en las llamadas estaciones meteorológicas (FAO, 1990), sin embargo no siempre están disponibles, o son de acceso restringido.

Las estaciones meteorológicas y los sistemas de riego convencionales, pueden representar un rubro económico alto; por lo que pueden ser solo costeados por pocos. Además, la limitación en la automatización de programas de riego es otra desventaja, pues estos no se adecuan a las necesidades que puede tener un cultivo en específico, en el momento oportuno.

Con el uso de placas electrónicas de desarrollo, que traen una arquitectura y código abiertos, disponibles en el mercado a costos accesibles, se puede implementar estaciones meteorológicas personalizadas, controladores con diferentes fines para operar de forma autónoma. Esto brinda la oportunidad de construir esta propuesta de prototipo de estación meteorológica inteligente para el control de riego y mitigación de heladas, al disponer de los datos necesarios en tiempo real y realizar los cálculos de riego para otorgar al cultivo las condiciones de humedad necesarias para su desarrollo correcto.

Así, se aprovecha de manera técnica y sostenible el agua, especialmente en zonas en donde el recurso hídrico es escaso (Perry *et al.*, 2017). Por otra parte, un sistema de riego, puede ayudar a contrarrestar las heladas, que se trata de fenómenos que causan daños graves en los cultivos y facturan cuantiosas pérdidas económicas (Wassan *et al.*, 2021). Al contar con una estación inteligente que controle el riego es posible activar el riego para la mitigación de las heladas, según las condiciones ambientales.

Materiales y Métodos

En esta investigación se trabajó con la metodología de prototipos rápidos. Se parte del levantamiento de los requerimientos de las necesidades de agua para el cultivo, a partir de los datos climatológicos y edafológicos requeridos, y de los parámetros para el manejo de heladas, considerando al riego por aspersión como un sistema de mitigación de heladas.

Se realizó un análisis de los dispositivos electrónicos, considerando algunos factores, entre ellos los más importantes: que sean accesibles, de arquitectura abierta en cuanto a hardware y software de tal forma que sea posible la integración con otros dispositivos de bajo consumo energético, de respuesta rápida y de precisión técnicamente aceptable para los fines de este trabajo.

Se diseñó una arquitectura provista de 3 componentes: Estación Meteorológica, Controlador de Riego y Electroválvulas como se muestra en la Figura 1. Se realizaron pruebas de operatividad de los dispositivos electrónicos, según las especificaciones de los fabricantes. A continuación, se construyeron prototipos rápidos que incluyen el diseño, interconexión, integración, desarrollo de software y pruebas de funcionamiento, para cada uno de los componentes, todo esto en ambiente controlado. Se realizó la integración de los prototipos con las mejoras correspondientes. Finalmente, se integraron los 3 componentes y se pusieron en operación en ambiente real en el campo.

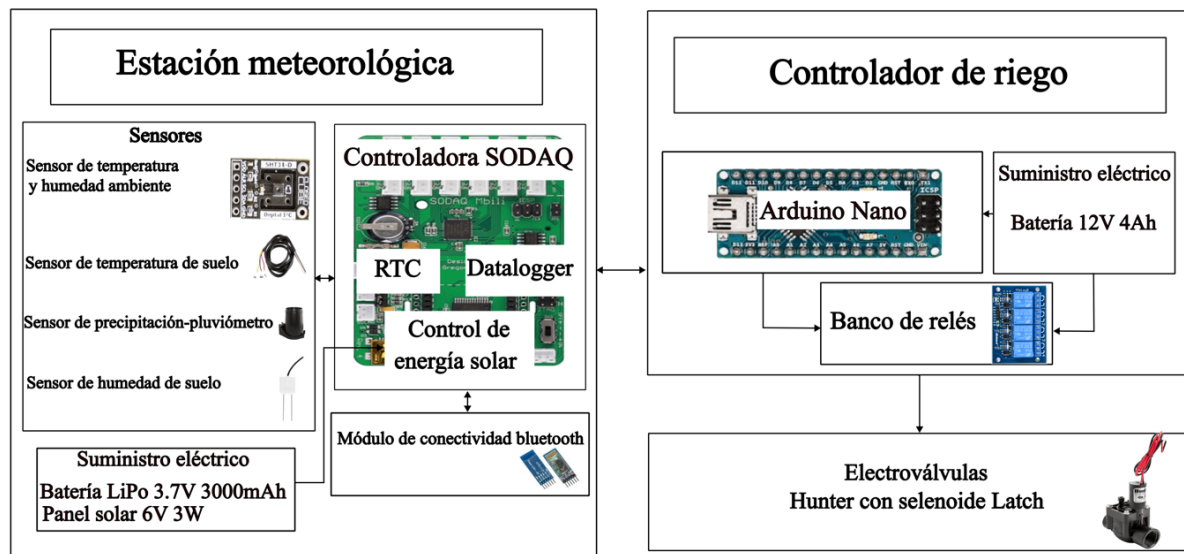
Componente 1: Estación Meteorológica.

La estación meteorológica está conformada por:

- Tarjeta Controladora “Solar Data Acquisition” (*SODAQ*) modelo *mbili*.
- Un conjunto de sensores que recogen los datos de Temperatura y Humedad Ambiente, Temperatura del Suelo, Lluvia, Temperatura Interior y Humedad del Suelo.
- Suministro energético.
- Módulo de conectividad Bluetooth.

Figura 1

Arquitectura de la estación meteorológica inteligente para control de riego

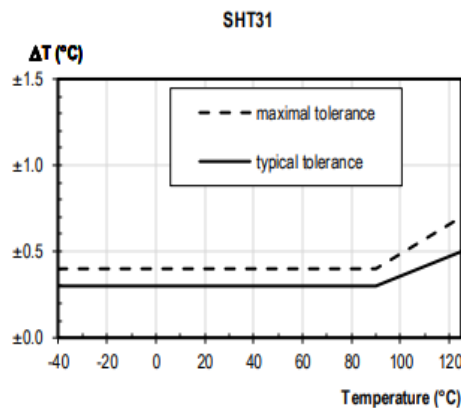


Sensores

Para la Temperatura y Humedad Ambiente se hizo uso del sensor SHT-31D, el mismo que se aloja al interior de una pantalla de Stevenson construida con platos invertidos que lo protegen de la lluvia, el sol y asegura una ventilación adecuada. El Sensor de Temperatura y Humedad SHT31-D se basa en un Chip sensor CMOSens, fabricado por Sensirion y totalmente calibrado, linealizado y cuenta con salida digital de temperatura compensada. Su funcionalidad incluye procesamiento de señal mejorado, dos direcciones I2C distintivas que son seleccionables por el usuario y con velocidades de comunicación de hasta 1 MHz. Amplio rango de tensión de alimentación de 2,15 V a 5,5 V, lo cual garantiza la compatibilidad con diversas situaciones de montajes.

La especificación de la humedad ambiente indica que su rango de operación es de 0 a 100% HR y tolerancia típica 2% HR. Mientras que, la especificación del sensor en que se refiere a temperatura tiene un rango de operación -40 a 125 °C y tolerancia típica de 0.2°C (Sensirion, 2016). La Figura 2 muestra la tolerancia de la variación de la temperatura en el rango de medición, observando que se mantiene constante hasta los 85 °C.

Para la medición de la temperatura del suelo se empleó el Sensor DS18B20 con protección para agua, es un sensor de temperatura de respuesta digital. La resolución del sensor de temperatura es configurable por el usuario a 9, 10, 11 o 12 bits.

Figura 2*Pruebas de tolerancia del sensor SHT31-D*

Para la medición de la lluvia se usó el sensor de precipitaciones Davis 7857, en el cual la lluvia entra en el cono colector, se acumula en una cámara de cubeta basculante, esta se balancea al recolectar una cantidad de agua, igual al incremento en el que mide el colector (0.01" o 0.2 mm) (Davis, 2014). A medida que la cubeta se inclina, provoca el cierre de un interruptor y coloca en posición la segunda cámara de la cubeta basculante. El agua de lluvia sale por los desagües apantallados en la base del colector. El número de descargas de las cubetas corresponde a la cantidad de aperturas y cierres del contacto del interruptor magnético.

Para la medición de la humedad del suelo existen varios dispositivos de bajo costo; sin embargo, un reflectómetro en el dominio del tiempo (TDR) presta la facilidad de que es independiente a la composición de sales del terreno. Se realizó la comparación de funcionamiento del TDR económico VH-400 con el CS655 de Campbell Scientific, ambos mostrando mediciones muy similares; sin embargo la CS655 presenta mayores características mecánicas para operar en el campo. En esta estación se empleó el reflectómetro TDR CS655.

El CS655 consta de dos varillas de acero inoxidable de 12 cm de largo conectadas a una placa de circuito impreso. La placa de circuito está encapsulada en epoxi y se conecta un cable blindado a la placa de circuito para la conexión del registrador de datos. El CS655 mide el tiempo de propagación, la atenuación de la señal y la temperatura. La permitividad dieléctrica, el contenido volumétrico de agua y la conductividad eléctrica a granel se derivan luego de estos valores brutos. El sensor utiliza para la salida el protocolo SDI-12 el cual está implementado en 3 hilos; la alimentación que soporta el sensor está en el rango de 6 - 18Vdc; con un consumo de corriente 80mA a 6Vdc (Campbell, 2022).

Suministro energético

La disponibilidad de energía eléctrica en una estación meteorológica que va a ser emplazada en el campo es uno de los problemas con los cuales se debe lidiar. Se hizo uso de un panel solar de 3 W-6 V, así como de una batería LiPo de 3.6V 3000mAh. Adicionalmente, se utilizó un convertidor DC-DC, para alcanzar el voltaje de funcionamiento del TDR. Este convertidor se activará únicamente si recibe un requerimiento, optimizando el consumo energético.

Módulo de conectividad bluetooth

En la estación se ha incorporado un módulo bluetooth HC-05 para obtener los datos con el fin de realizar el monitoreo de todas las variables recolectadas por los sensores. El módulo estándar consume 40mA y requiere para su funcionamiento de un voltaje superior a

3.3 V, disponible en la tarjeta controladora de la estación. Para lograr el funcionamiento correcto se debió suprimir el regulador de 3.3V integrado al módulo HC-05 y energizarlo directamente al pin #12 suministrando el voltaje de 3.3V. Para conectar a la estación mediante un enlace bluetooth y coleccionar los datos almacenados en la misma se empleó la aplicación “SerialBluetooth Terminal” que se puede descargar libremente.

Componente 2: Controlador de riego

La estación meteorológica supervisa en tiempo discreto del comportamiento de las variables climáticas y del suelo que satisfacen los requerimientos de riego del cultivo e instruye al controlador de riego las acciones a realizar de ser necesario. Este controlador de riego está conformado por un arduino nano, un banco de relés y batería.

Arduino Nano

Arduino Nano es una placa de desarrollo de tamaño compacto, completa y compatible con protoboards, basada en el microcontrolador ATmega328P. Tiene 14 pines de entrada/salida digital (de los cuales 6 pueden ser usando con PWM), 6 entradas analógicas, un cristal de 16Mhz, conexión Mini-USB, terminales para conexión ICSP y un botón de reseteo (Arduino.cc, 2021). Las programaciones para las órdenes de riego estarán alojadas en el código desarrollado para este dispositivo.

Componente 3: Electro - Válvula Hunter con Solenoide Latch

Se utilizaron tres electroválvulas disponibles en el mercado local marca Hunter. Estas funcionan con solenoides de tipo enclavamiento mecánico, accionados por pulso eléctrico, para de esta manera solventar los requerimientos de energía de las electroválvulas convencionales.

Operatividad de la estación meteorológica inteligente

La estación meteorológica contiene como elemento central a la placa controladora Sodaq Mbili. Esta placa permite configurar los requisitos del sistema mediante el desarrollo de código personalizado a los requerimientos del usuario. También permite gestionar sensores de varios tipos, mediante protocolos, para los cuales se ha desarrollado librerías que facilitan el trabajo. El Sensor de Temperatura y Humedad SHT31-D, se comunica con la placa controladora mediante una interface I2C que le permite tener tiempos de respuesta de hasta 1Mhz.

Se lo ancla en un soporte a 2 metros sobre el nivel de suelo en donde se desarrolla el cultivo, esta normativa ha sido dictada por la OMM (Oke, 2004). Mientras que, el sensor de temperatura del suelo DS18B20, se instala enterrado a 10 cm de la superficie del suelo, en la parcela experimental. La lluvia se registra mediante el conteo de las descargas del balancín de pluviómetro, para esto se emplea una interrupción externa de la placa controladora, que suspende el código que esté ejecutando mientras atiende la petición de conteo de descargas.

Considerando que el TDR CS655 está diseñado para funcionar con voltaje más alto del disponible en la estación, se requirió emplear un “DC-DC up converter”, de esta manera se controla su encendido desde la placa controladora para los requerimientos de lectura del instrumento. Para establecer comunicación se utilizó una librería de código abierto SDI12.H que implementa el protocolo SDI-12 sobre la placa controladora. Finalmente, para el suministro energético, la placa controladora dispone de un conector al que se le integra un panel solar de 3W – 6V para el suministro de energía durante el día, al mismo tiempo que dispone de otro conector al cual se le agrega una batería LiPo de 3000mAh a 3.7 V. El mantenimiento y carga de la batería es controlada por el hardware con el que está equipado la placa controladora.

El datalogger o registrador de datos emplea como elemento de almacenamiento una memoria microSD externa instalada en el slot disponible de la placa controladora. Para el registro de los datos se adquiere la fecha y hora desde el reloj de tiempo real RTC (DS3231) que está integrado en la controladora. Cada cinco minutos se realiza una petición de lectura de todos los sensores anclados a la estación, con las mediciones reportadas se arma un set de datos al que se agrega fecha y hora y se realiza la escritura en la memoria microSD. Los datos pueden ser descargados mediante conexión directa al puerto USB o mediante la facilidad bluetooth instalada en la estación para fines de monitoreo del buen funcionamiento de los sensores y otras aplicaciones para terceros.

Operatividad del Controlador de Riego

El sistema de riego requiere de capacidades sensoriales a fin de tomar decisiones y acciones acordes a las necesidades de riego de un determinado cultivo. Una estación meteorológica facilita estas capacidades al mismo tiempo que puede administrar un controlador de riego.

Para implementar la lógica de operación del controlador de riego se parte de los requerimientos funcionales. En esta investigación para determinar cuándo y cuánto regar, es decir establecer el plan de riego, se consideró el contenido volumétrico de agua (VWC, por sus siglas en inglés) a base de la capacidad de campo (CC), punto de marchitez permanente (PM) y umbral de riego (UR). El sistema de riego se activa cuando el sensor de humedad del suelo registra que este ha llegado a UR (20%), y se detiene cuando el suelo alcanza la CC (25%).

Se recomienda evitar ir por debajo del UR y mucho menos llegar a PM (15%) pues las plantas llegan a estresarse y puede perderse el cultivo. Otros parámetros considerados para la automatización del riego son la hora del día, es de importancia considerarla, debido a que a medio día es contraproducente regar; además, si paralelo al riego en actividad existiesen eventos de precipitación importantes, la programación permitirá que se desactive y deje de regar.

En esta investigación, el sistema de riego implementado en la parcela experimental, en donde opera en ambiente real es riego por aspersión, el cual está conformado por tres grupos de aspersores independientes. En este caso, este riego se está utilizando también para la mitigación de heladas. La literatura habla de heladas cuando la temperatura desciende bajo los cero grados centígrados, diferenciando la helada blanca de la negra, porque la segunda ocurre cuando además la humedad relativa es menor al 45% (Pérez Morales, 2016). De aquí que, la estación inteligente cuando detecta estas condiciones envía señal al controlador para que se active el riego por intervalos mientras persistan las condiciones.

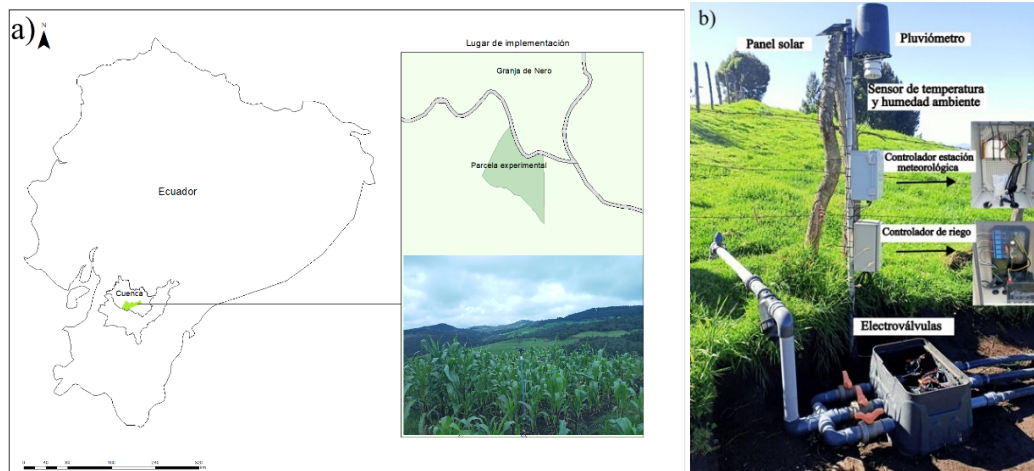
El controlador tiene implementado la lógica para recibir órdenes de la estación y a partir de esto realizar las acciones para el control de un banco de relés que permiten activar o desactivar el flujo de agua en cada uno de los grupos de riego. Las válvulas de los grupos de riego requieren de un breve pulso eléctrico para permitir o bloquear el flujo de agua.

Puesta en funcionamiento en ambiente real

Una vez integrado el sistema de riego y la estación meteorológica inteligente (Figura 3b), se puso en operación en la parcela experimental en la granja de Nero de la Universidad de Cuenca (Figura 3a). Esta granja está ubicada a 3100 m s.n.m. En determinadas épocas se puede llegar a temperaturas bajo cero. El sistema de riego instalado en la parcela experimental es de aspersión con tres grupos de aspersores, sobre la parcela se tiene un cultivo de maíz (*Zea mays*) variedad zhima, con un clico fenológico aproximado de 270 días.

Figura 3

a) Ubicación parcela experimental b) Estación meteorológica inteligente con sus componentes

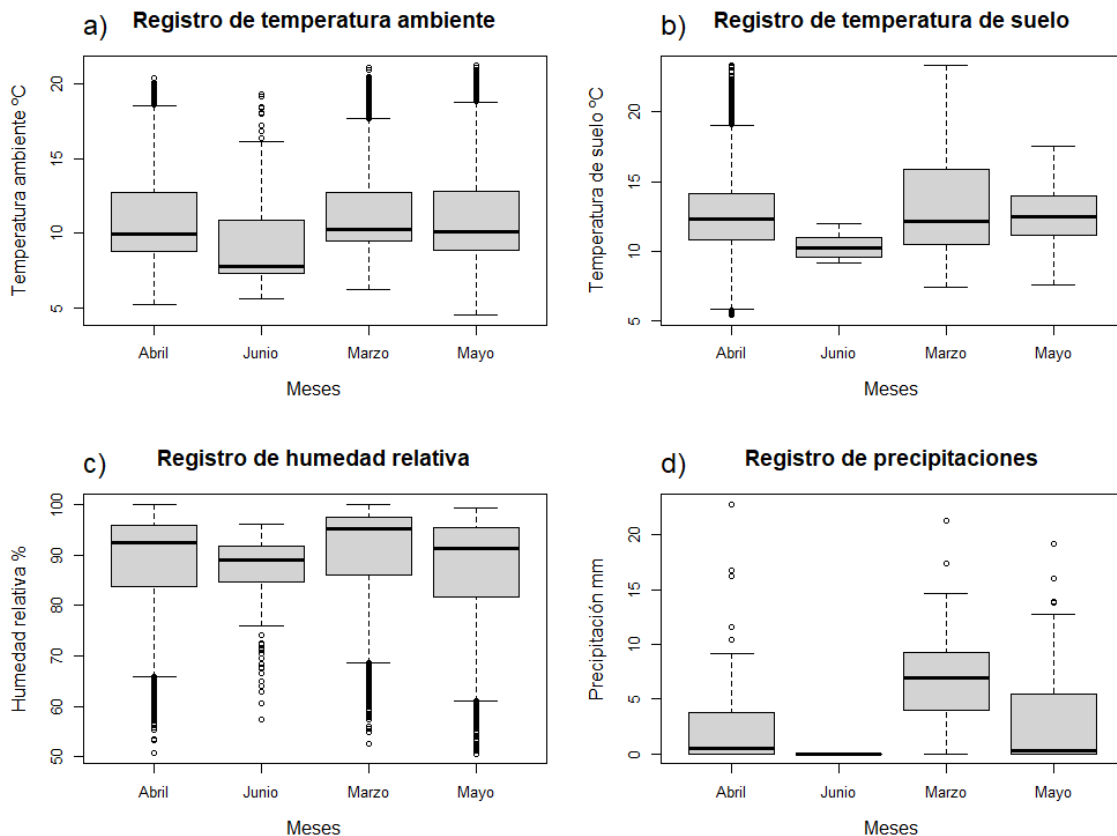


Resultados y Discusión

La estación meteorológica inteligente ha funcionado durante cuatro meses sin interrupciones. Tras la obtención de los datos de la estación semanalmente, para fines de monitoreo, se realiza un análisis visual de las variables climáticas mediante el uso de gráficas de cajas y bigotes (Figura 4) para conocer si no hay valores atípicos o ruidos, que podrían estar ligados al mal funcionamiento de los sensores.

Figura 4

Gráfica de caja y bigotes de las variables medidas por la estación meteorológica y consideradas para el riego automatizado



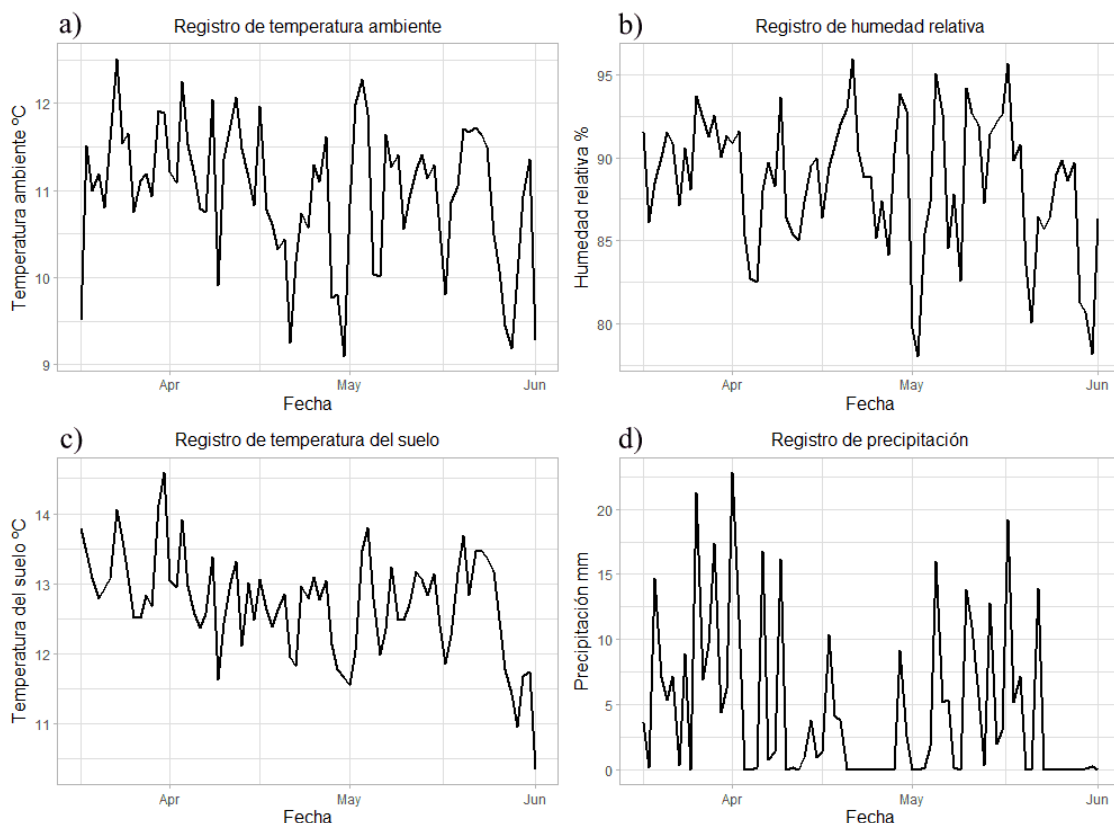
Si bien la gráfica de caja y bigotes muestra valores atípicos en todas las variables medidas, esto se considera normal debido a la ubicación geográfica en donde ha sido implementado el experimento. La temperatura ambiente registró valores bajos de 4°C y altos por encima de los 22°C (Figura 4a), la temperatura del suelo llegó a los 30°C en los meses de marzo y abril (Figura 4b).

La humedad relativa en los registros de la estación meteorológica refleja una amplia variabilidad de sus datos, estando el mínimo cerca del 50% y el máximo alcanza el 100% durante los cuatro meses de monitoreo (Figura 4c); al ser una zona alta puede llegar a humedades de ambiente bajas que son comunes en zonas montañosas en donde se suelen registrar heladas, por debajo del 45%. Finalmente, la precipitación muestra eventos de importancia durante el mes de abril y mayo (Figura 4d).

El sistema cada cinco minutos registra la lectura de los sensores, por lo que para la gráfica de series temporales de las variables (Figura 5) se obtuvo las medias diarias por mes, a excepción de la precipitación, que es la suma diaria de las descargas. En la gráfica hay registros de datos desde el 17 de marzo hasta el 1 de junio para las variables climáticas, incluyendo temperatura del suelo; sin embargo, para la VWC se tiene registro desde el 19 de abril hasta el 1 de junio. El sistema no ha dejado de registrar datos durante los meses en operación, por lo que, se encuentra la totalidad de los datos diarios recolectados.

Figura 5

Serie temporal de las variables medidas por la estación meteorológica



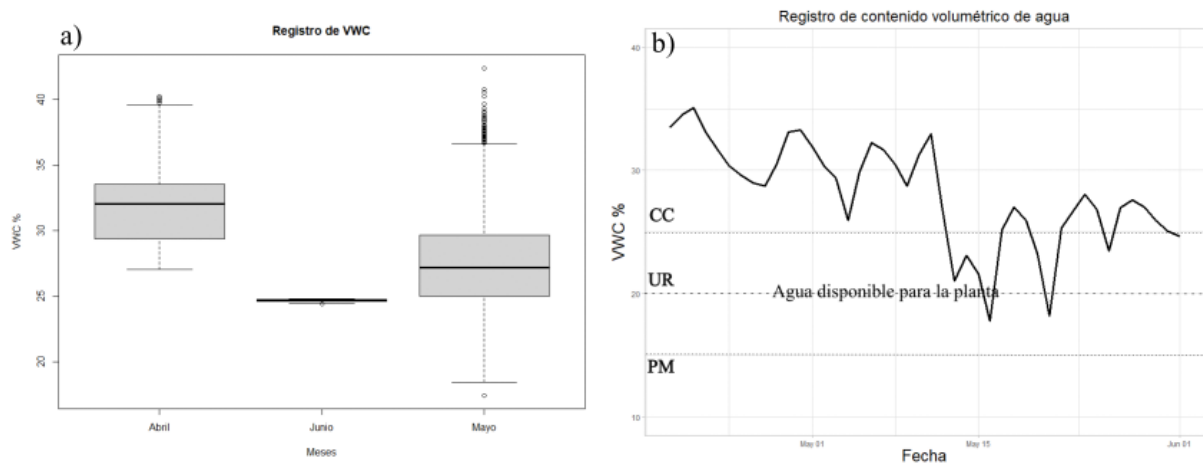
En la series temporales se observan temperaturas ambiente altas a finales de marzo, pero las más bajas a finales de abril y finales de mayo (Figura 5a). La humedad relativa más baja fue a inicios de mayo; las altas a finales de abril y a mediados de mayo (Figura 5b). La temperatura del suelo fue alta a finales de marzo, mientras la más baja a inicios de junio (Figura

5c). Finalmente, las precipitaciones son altas a finales de marzo e inicios de abril, pero para fin de abril hasta mediados de mayo hay un declive importante (Figura 5d). El análisis del comportamiento de las variables descritas queda fuera del alcance de este estudio, sin embargo, podrían ser de mucha utilidad para otras investigaciones.

La Figura 6 muestra que el contenido volumétrico de agua durante el mes de mayo estuvo por dos ocasiones por debajo del UR (20%) (Figura 6a), por lo que el sistema de manera autónoma se activó para proveer de riego al cultivo de maíz hasta que el suelo nuevamente alcance la CC (25%). Asimismo, se identificó varias precipitaciones durante los meses de abril y mayo, por lo que la mayoría de tiempo el suelo ha permanecido por encima de CC (Figura 6b). Finalmente, el sistema de riego no se ha activado para mitigar las heladas, debido a que las condiciones climáticas no han sido las necesarias como para activar el riego, al considerar que, para las heladas, la temperatura debe ser igual o por debajo de 0°C y la humedad relativa igual o menor a 45%.

Figura 6

Valores medidos del VWC del suelo para la activación del riego automatizado



Estos resultados, alientan el uso de placas del entrenamiento y sensores adaptados para aplicaciones en agricultura; de la misma forma como lo demuestran los resultados de un sistema hidropónico automático (Ramady et al., 2021), proyecto basado en el microcontrolador Arduino nano, asistido por sensores, en donde también es posible monitorear variables y alcanzar autonomía.

Otras investigaciones demuestran que los costos de un sistema comercial de riego y sus sensores son altos; que unido a la limitada flexibilidad para adaptaciones no son una alternativa rentable económicamente para el agricultor promedio (Belayneh, Lea-Cox and Lichtenberg, 2013). Esto se enfatiza en países con agricultura menos tecnificada y-o en zonas de pequeños agricultores con limitados recursos económicos.

Conclusiones

En este trabajo se ha implementado una estación meteorológica inteligente, a nivel de prototipo, a partir dispositivos electrónicos con hardware y software de código abierto. La estación ha sido personalizada para proveer datos de temperatura, humedad del ambiente, humedad del suelo y lluvia en tiempo real, como entrada para que un controlador de riego trabaje de forma autónoma. Es decir, sea activado según el plan de riego del cultivo, con el cual ha sido instruido. Adicionalmente, la estación meteorológica inteligente permite la

activación del riego como método para mitigación de heladas, considerando que estos fenómenos pueden ocurrir en alta montaña y pueden dañar el cultivo.

Este prototipo ha sido probado, primero en ambiente controlado por partes y luego de forma integrada en la parcela experimental. La parcela está ubicada en la granja Nero de la Universidad de Cuenca, sobre los 3100 msnm, en donde ha sido puesto en funcionamiento, obteniendo resultados de operatividad satisfactorios. Sin embargo, para futuros desarrollos o incorporación de sensores adicionales, se podría tener la limitante de disponibilidad del hardware a nivel local.

Por otra parte, al considerar que un sistema de riego puede operar de acuerdo a distintos parámetros y variables, entre ellos: la frecuencia de riego, el tiempo de riego, la humedad del suelo (CC y PM), temperatura de suelo, temperatura y humedad ambiente, etc., es decir, acorde a diferentes requerimientos funcionales y no funcionales; se plantea como trabajo futuro, el desarrollo de una interfaz hombre-máquina intuitiva. Con ello, se busca satisfacer las expectativas del usuario final (agricultor), con funcionalidad para modificar y calibrar variables consideradas para la planificación del riego según el cultivo.

Adicionalmente, a futuro se plantea la integración a alguna plataforma de internet de las cosas (IoT), empleando tecnologías para la transmisión inalámbrica de datos, de bajo consumo y largo alcance a fin de realizar un monitoreo remoto de la estación meteorológica con datos en tiempo real.

Con este trabajo se aporta al desarrollo sostenible de la agricultura, y la soberanía tecnológica. Es decir, se pone tecnología local al alcance, que puede ser personalizada, según las necesidades del manejo del cultivo de una zona determinada. Adicionalmente, y no de menor importancia, se provee un banco de los datos climáticos que podrán servir para otros usos de la zona donde ha sido ubicada la estación meteorológica inteligente.

Reconocimientos

Este trabajo ha sido desarrollado en el marco del proyecto de investigación “Agricultura inteligente para el monitoreo y diagnóstico del cultivo de maíz (*Zea mays*)”, financiado entre la Universidad de Cuenca y la Corporación Ecuatoriana para el Desarrollo de la Investigación y la Academia (CEDIA), para quienes los autores expresan agradecimiento.

Referencias

- Arduino.cc. (2021). *Arduino Nano*. Arduino Oficial Store. <https://store.arduino.cc/products/arduino-nano>
- Bacco, M., Barsocchi, P., Ferro, E., Gotta, A., & Ruggeri, M. (2019). The Digitisation of Agriculture: a Survey of Research Activities on Smart Farming. *Array*, 3-4(August), 100009. <https://doi.org/10.1016/j.array.2019.100009>
- Belayneh, B. E., Lea-Cox, J. D., & Lichtenberg, E. (2013). Costs and benefits of implementing sensor-controlled irrigation in a commercial pot-in-pot container nursery. *HortTechnology*, 23(6), 760-769. <https://doi.org/10.21273/horttech.23.6.760>
- Campbell. (2022). *CS655 Soil Water Content Reflectometer 12 cm*. Campbell Scientific. <https://www.campbellsci.eu/cs655>
- Davis. (2014). *Rain Collector*. Davis Instruments. https://cdn.shopify.com/s/files/1/0515/5992/3873/files/07395-332_Addendum_7852_7857_6450_6490.pdf

- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (1990). Evapotranspiración del Cultivo. *Serie Didáctica, Facultad de Agronomía y Zootecnia, Universidad Nacional de Tucuman*, 45.
- Iles, A., & Montenegro de Wit, M. (2018). Sovereignty at What Scale? An Inquiry into Multiple Dimensions of Food Sovereignty. *The Politics of Food Sovereignty*, 12(4), 61-76. <https://doi.org/10.4324/9781315226156-5>
- Kernecker, M., Knierim, A., Wurbs, A., Kraus, T., & Borges, F. (2020). Experience versus expectation: farmers' perceptions of smart farming technologies for cropping systems across Europe. *Precision Agriculture*, 21(1), 34-50. <https://doi.org/10.1007/s11119-019-09651-z>
- Knierim, A., Kernecker, M., Erdle, K., Kraus, T., Borges, F., & Wurbs, A. (2019). Smart farming technology innovations – Insights and reflections from the German Smart-AKIS hub. *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences*, 90-91(October), 100314. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2019.100314>
- Medrano, H., Bota, J., Cifre, J., Flexas, J., Ribas-Carbó, M., & Gulías, J. (2007). Eficiencia en el uso del agua por las plantas. *Investigaciones Geográficas*, 63-84.
- Oke, T. R. (2004). Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites. *World Meteorological Organization*, 81, 51. <http://www.geog.ubc.ca/~toke/IOM-81-UrbanMetObs.pdf>
- Pérez Morales, A. (2016). Riesgo de heladas en cultivos. Análisis y evaluación. *Libro Homenaje al Profesor Alfredo Morales Gil, January 2016*, 1005-1022. <https://doi.org/10.14198/librohomenajealfredomorales2016-45>
- Perry, C., Steduto, P., & Karajeh, F. (2017). Does improved irrigation technology save water? A review of the evidence. En *Regional Initiative on Water Scarcity for the Near East and North Africa* (Vol. 42, Número 2). www.fao.org/publications%0Ahttps://www.researchgate.net/publication/317102271
- Plett, D. C., Ranathunge, K., Melino, V. J., Kuya, N., Uga, Y., & Kronzucker, H. J. (2020). The intersection of nitrogen nutrition and water use in plants: New paths toward improved crop productivity. *Journal of Experimental Botany*, 71(15), 4452-4468. <https://doi.org/10.1093/jxb/eraa049>
- Ramady, G. D., Lestari, N. S., Herawati, Hidayat, R., Zulkifli, R., Anisah, I., Dzulkarnaen, R., & Rakhman, A. (2021). Development of a Prototype Learning Model for the Hydroponic System based on Arduino Nano. *Journal of Physics: Conference Series*, 1933(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1933/1/012089>
- Said Mohamed, E., Belal, A. A., Kotb Abd-Elmabod, S., El-Shirbeny, M. A., Gad, A., & Zahran, M. B. (2021). Smart farming for improving agricultural management. *Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 24(3), 971-981. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2021.08.007>
- Sensirion. (2016). *Datasheet SHT3x-DIS* (Número August). https://www.mouser.com/datasheet/2/682/Sensirion_Humidity_Sensors_SHT3x_Datasheet_digital-971521.pdf
- SODAQ. (2019). *SODAQ Mbili (Arduino compatible ATmega 1284P)*. SODAQ. <https://support.sodaq.com/Boards/Mbili/>
- Taha, A. (2018). Assessment of different ETO-Dependent Irrigation Levels for Pomegranate on Saving Water and Energy and Maximizing Farm Income. *Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering*, 9(11), 657-665. <https://doi.org/10.21608/jssae.2018.36461>
- Vergara Romero, A. A., & Moreno Silva, A. N. (2019). Soberanía alimentaria en Ecuador: fundamentos teóricos y metodológicos para un modelo de medición. *Revista Científica Ecociencia*, 6(December 2019), 1-18. <https://doi.org/10.21855/ecociencia.60.256>