

Diseño e implementación de un sistema de control automático de irrigación y fertilización para invernaderos bajo el paradigma de la Agricultura 4.0

Design and implementation of an automatic irrigation and fertilization control system for greenhouses under the paradigm of Agriculture 4.0

Hugo Gutiérrez-Flores^{1*}, Jorge Antonio Kau-Pérez¹, Karim de Alba-Romenus¹, Alberto Sandoval -Rangel¹

¹Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923. Buenavista, CP 25315. Saltillo, Coahuila, México.
Correo electrónico: gufohu@gmail.com [*Autor responsable]

RESUMEN

La Agricultura 4.0 es la nueva revolución de la agricultura para hacer frente a los actuales retos que esta enfrenta, principalmente debido al crecimiento demográfico, la escasez de recursos naturales, el cambio climático y el desperdicio de alimentos. Un invernadero normalmente produce más rendimiento por metro cuadrado en comparación con el cultivo en campo abierto, ya que las condiciones ambientales que determinan el rendimiento de los cultivos son controladas, ya sea de manera manual o automática. Sin embargo, existen recursos, como el agua y los fertilizantes, que no se dosifican eficientemente, ya que su aplicación se realiza en forma empírica. En este trabajo se presenta el diseño y la implementación de un sistema de control automático de lazo cerrado a partir del paradigma de la Agricultura 4.0. De acuerdo con la información de diversos sensores, de manera automática se controla la irrigación y la fertilización de un cultivo de lechuga en invernadero. La información de las principales variables que influyen en el cultivo se digitaliza y envía a la nube [servidor remoto] para su almacenamiento y análisis en línea. El estado de los diversos sensores y actuadores puede ser consultado en cualquier momento mediante una aplicación móvil, desarrollada especialmente para este sistema. Para probar el desempeño del sistema de control se diseñó una configuración experimental en cuatro tratamientos con solución fertilizante Steiner en concentraciones de 50%, 75% y 100%, cada uno con cuatro repeticiones, y uno más sólo con agua. El desempeño global del sistema demostró ser eficiente, independientemente del tratamiento.

Palabras clave: Agricultura 4.0, fertirrigación, automatización de invernaderos, monitoreo de cultivos.

ABSTRACT

Agriculture 4.0 is the new revolution in agriculture to face the current challenges, mainly due to population growth, scarcity of natural resources, climate change and food waste. A greenhouse normally produces more yield per square meter compared to open field cultivation, since the environmental conditions that determine crop yield are controlled, either manually or automatically. However, there are resources, such as water and fertilizers, that are not dosed efficiently, since their application is carried out empirically. This presents the design and implementation of a closed loop automatic control system following the paradigm of Agriculture 4.0. From the information of various sensors, the irrigation and fertilization of a greenhouse lettuce crop are automatically controlled. The information on the main variables that influence the crop is digitized and sent to the cloud [remote server] for storage and online analysis. The status of the various sensors and actuators can be consulted at any time by means of a mobile application, specially developed for this system. To test the performance of the control system, an experimental configuration is designed consisting of 4 treatments with Steiner fertilizer solution in concentrations of 50%, 75% and 100%, and one more only with water, each with 3 repetitions. The overall performance of the system proved to be efficient, regardless of the treatment.

Keywords: Agriculture 4.0, Fertigation, Greenhouse Automation, Crop Monitoring.

INTRODUCCIÓN

Hoy en día, la industria de la agricultura enfrenta nuevos desafíos. A nivel mundial, varias tendencias están influenciando en la seguridad alimentaria, la pobreza y la sostenibilidad general de los sistemas alimentarios y agrícolas. Los cuatro factores principales que ejercen presión sobre la agricultura para satisfacer las demandas del futuro son: la demografía, la escasez de recursos naturales, el cambio climático y el desperdicio de alimentos. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

(FAO), la población mundial crecerá 33% en las próximas décadas, y se estima que para el año 2050 llegue a 10 mil millones, por lo que se requerirá un incremento aproximado de 70% de producción de alimentos para cubrir la demanda alimentaria de esa población. Sin embargo, debido a los cuatro factores anteriormente mencionados, el crecimiento de la producción se ha desacelerado, por lo que, para alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de un mundo libre del hambre para 2030, será necesario contar con sistemas alimentarios más productivos, eficientes, sostenibles, inclusivos, transparentes y resilientes (FAO, 2017b).

La denominada “cuarta revolución industrial” (Industria 4.0) está causando una rápida transformación en varios sectores debido a las innovaciones digitales revolucionarias, tales como la tecnología de la cadena de bloques, la Internet de las cosas, la inteligencia artificial y la realidad inmersa. En el sector de la agricultura y la alimentación (Agricultura 4.0), la difusión de las tecnologías móviles, los servicios de teledetección y el procesamiento distribuido ya están mejorando el acceso de los pequeños productores a la información, los insumos, los mercados, la financiación y la capacitación. Las tecnologías digitales están creando nuevas oportunidades para integrar a los pequeños agricultores en un sistema agroalimentario de base digital (USAID, 2018).

La agricultura 4.0 tiene su base en el uso intensivo de las innovaciones y tecnologías digitales para producir alimentos usando menos energía, fertilizantes y pesticidas mientras baja los niveles de gases de efecto invernadero y hace frente al cambio climático. La digitalización modificará todas las partes de la cadena agroalimentaria, ya que funcionará en tiempo real de forma hiperconectada y basada en datos. La gestión de los recursos en todo el sistema puede optimizarse considerablemente y volverse individualizada, inteligente y prospectiva (De Clercq, 2018).

Desde hace varios años, los invernaderos han demostrado ser una alternativa eficiente frente a los cultivos de campo abierto, por lo que, en el mundo, el área de producción de invernadero está aumentando (Rabobank, 2018). Un invernadero normalmente produce más rendimiento por metro cuadrado, independientemente de las condiciones geográficas y ambientales, ya que las condiciones que determinan el rendimiento de los cultivos son controladas, ya sea de manera manual o automática. Actualmente se encuentran en operación invernaderos altamente automatizados, sin embargo, estos están enfocados a cultivos de alto valor económico, por lo que en la amplia mayoría de los invernaderos que usan sistemas automáticos controlan, principalmente, la temperatura y la humedad, ya que los sensores para medir estas variables son confiables, baratos, fáciles de conseguir y están en constante mejora.

En general, los enfoques para la fertirrigación (irrigación combinada con fertilización) de cultivos de invernadero son similares a los de la producción de campo. El contenido de nutrientes del suelo se mide al inicio del crecimiento del cultivo y, en ocasiones, varias veces durante todo el ciclo de su crecimiento. El agua y los nutrientes se aplican para cumplir con la absorción que requiere el cultivo, teniendo en cuenta el contenido mínimo que necesita el suelo para la absorción ilimitada de nutrientes, que es un parámetro específico del cultivo

(Heinen, 2007). A menudo se suministra un gran excedente de agua para mantener alta la humedad del suelo y evitar su salinización, por lo que es necesaria una fertilización adicional para compensar las pérdidas de nutrientes causadas por la lixiviación (Kläring, 2001). Los bajos costos del agua y los fertilizantes, en comparación con el alto valor de los cultivos en el mercado, y la mayor transición a sistemas de cultivo sin suelo, pueden explicar por qué, en el pasado, se realizaron tan pocas investigaciones para desarrollar estrategias de control más sofisticadas relacionadas con la nutrición vegetal de cultivos de invernadero cultivados en tierra.

Recientemente se han propuesto e ideado varios sistemas de riego inteligentes mediante evapotranspiración (ET), imágenes térmicas, métodos capacitivos y métodos de dispersión de neutrones, y los bloques de yeso que permiten la detección de humedad. La mayoría de los sensores, en especial los capacitivos, aunque instantáneos, son costosos y deben calibrarse a menudo con diferentes temperaturas y tipos de suelo (D. Veera *et al.*, 2017; Zazueta & Xin, 2004). El uso de hardware y software libre, así como el internet de las cosas (IoT) han tenido gran impacto en el desarrollo de estos sistemas. En Parameswaran *et al.* (2016) se propone un sistema de irrigación basado en Arduino; en Danita *et al.* (2018) se propone uno similar basado en Raspberry Pi, y en Chandankumar *et al.* (2015) se presenta otro basado en el microcontrolador ESP8266.

Por otro lado, las redes de sensores inteligentes para aplicaciones de invernaderos han sido un campo de investigación activo durante las últimas dos décadas. En Jahnavi & Ahamed (2015) se desarrolla una red de sensores inalámbricos inteligentes para monitorear de forma remota y automatizar el control de la temperatura, la humedad y la humedad del suelo del invernadero, mientras que en Meah *et al.* (2019) se propone una red de sensores para el control y monitoreo, en la que el sistema de control automatizado enciende y apaga los actuadores del invernadero, en respuesta a eventos programados o lecturas de sensores.

Sin embargo, la gran mayoría de las estrategias de control para dosificar el agua o fertilizantes se basan en la perspectiva personal del cultivador; es decir, sin monitorear el estado del agua o fertilizante del suelo o de la planta, en horarios programados y por tiempos regulares (Bonachela, 2006), por lo que se suele aplicar más agua de riego que el consumo de agua estimado (Kitta *et al.*, 2015).

Para lograr un uso eficiente del agua y fertilizantes es necesario contar con un sistema de control en lazo cerrado, esto es, un sistema que tenga retroalimentación en tiempo real de estas dos variables. Los sensores para monitorear la conductividad eléctrica (CE), el pH y la

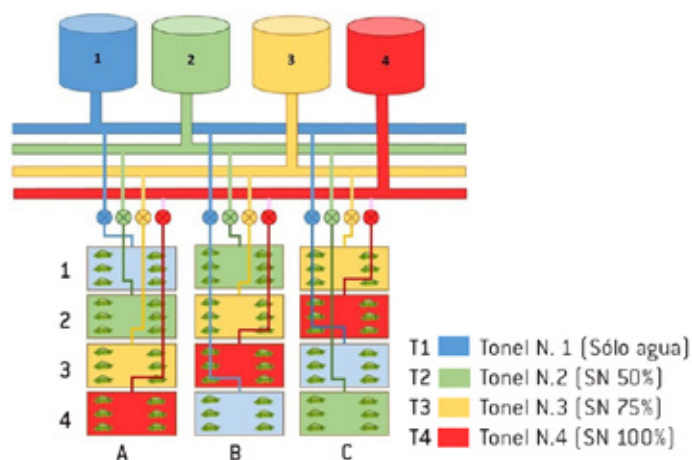


Figura 1. Configuración de 12 bloques experimentales.

cantidad de drenaje podrían usarse como una herramienta para tener un mejor control sobre el riego, considerando las diferencias estacionales de transpiración (Ehret *et al.*, 2001).

En este trabajo se presenta el diseño e implementación de una estrategia de control en lazo cerrado para la fertirrigación, la cual hace uso de un sensor de conductividad eléctrica, un sensor de humedad y temperatura del suelo, situados en la zona de las raíces del cultivo (lechuga); además, se incorpora un sensor ambiental de temperatura y humedad. Siguiendo con el paradigma de la Agricultura 4.0, todas las variables medidas del invernadero se digitalizan y envían a la nube para almacenarlas en una base de datos, para su posterior análisis en línea. El estado de todas las variables y hardware (bombas y electroválvulas) del sistema de riego pueden consultarse, ya sea directamente en el servidor, o en una aplicación móvil especialmente diseñada para este propósito. Adicionalmente, existe la posibilidad de controlar remotamente las bombas y electroválvulas, además de controlar eficientemente el agua y los fertilizantes (en nuestro caso, solución Steiner en diferentes concentraciones) con toda la información almacenada en línea y disponible en cualquier lugar y cualquier momento (siempre y cuando se tenga una conexión a internet), para que el productor pueda tomar mejores decisiones.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para probar el desempeño del sistema, el experimento se realizó en un invernadero del Departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria

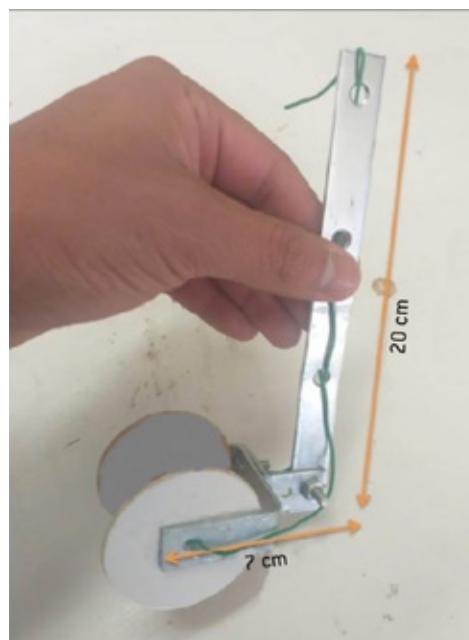
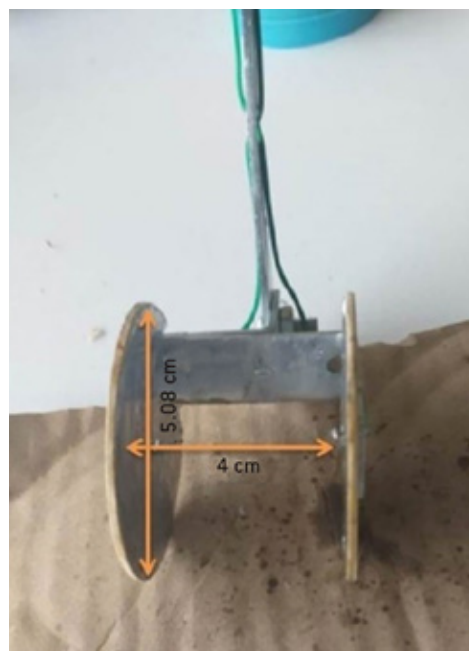


Figura 2. Electrodo de cobre recubierto de estaño.

Antonio Narro (UAAAN), del cual se dispuso la tercera parte de su superficie, y esta, a su vez, se dividió en 12 bloques: cuatro tratamientos con soluciones nutritivas Steiner en concentraciones de: 0%, 50%, 75% y 100%, y cada uno con tres repeticiones. En la Figura 1 se puede apreciar la disposición de los bloques experimentales, donde cada color indica el tratamiento respectivo.

Para cada tratamiento se utilizó un tonel con capacidad de 300 litros, en los cuales se preparó la solución fertilizante a la concentración correspondiente. Para aplicar el riego se utilizaron cuatro bombas periféricas

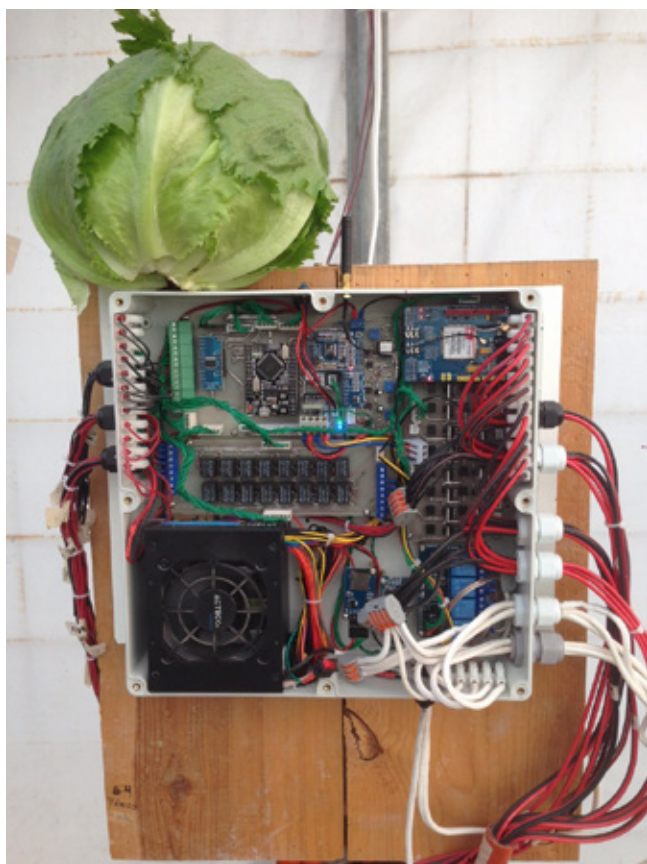


Figura 3. Gabinete con circuitos de control.

con un voltaje de operación de 110Vac y 1/2 HP de potencia, marca AQUAPAK Modelo AP-4; además se usaron 12 electroválvulas tipo solenoide de 12Vdc, con una presión de trabajo de 0.02 ~ 0.8 Mpa, dirigidas a cada una de las secciones del cultivo, las cuales dosifican el contenido a las cuatro secciones del cultivo.

Se eligió la lechuga, variedad Montemar Semillera Caloro, por su relativamente corto periodo de cultivo. Se trata de una variedad de lechuga bola indexada que se puede cultivar de un clima frío a un cálido; es de color verde oscuro, de tamaño muy grande y tiene una excelente firmeza. Se utilizaron sensores de conductividad eléctrica, los cuales consisten en un par de electrodos circulares de placa fenólica (fibra de vidrio con una cara chapada de cobre).

Los sensores se estañaron para evitar la corrosión, y se adhirieron a una estructura de hierro para mantener una distancia de separación constante de 4 cm (Figura 2). Estos electrodos se introdujeron en la zona de las raíces del cultivo para medir la conductividad eléctrica.

Para medir la conductividad se hizo pasar una corriente alterna senoidal de frecuencia variable (barrido de frecuencias de $f_1 = 10$ Hz a $f_2 = 20$ KHz) entre los



Figura 4. Pantalla principal de la aplicación.

electrodos, y mediante la respuesta en frecuencia y la aplicación de la ley de Ohm, no sólo se logró conocer la conductividad, sino también la impedancia eléctrica (conductividad + permitividad) de esa parte del suelo.

Sensores de humedad de suelo V1.2

Este es un sensor capacitivo (lo que lo hace más resistente a la corrosión y más confiable en mediciones a largo plazo) que determina la cantidad de humedad del suelo. Mediante un clásico circuito oscilador 555 y un detector de pico de voltaje midieron los cambios en la capacitancia para determinar el contenido de agua del suelo.

Sensor de temperatura de suelo DS18B20

El DS18B20 es un sensor de temperatura en el cual se lleva la conversión analógica a digital dentro del encapsulado, que entrega el resultado a través de una interfaz digital llamada 1-wire. Con este sensor se puede medir temperatura desde los -55° C hasta los 125° C, con una resolución programable desde 9 hasta 12 bits. La ver-

sión que se utilizó en el experimento protege al encapsulado TO-92 mediante una cubierta impermeable de acero inoxidable.

Sensor de temperatura y humedad ambiental DHT22

El DHT22 (AM2302) es un sensor digital de temperatura y humedad relativa de buen rendimiento y bajo costo. Integra un sensor capacitivo de humedad y un termistor para medir el aire circundante, y muestra los datos mediante una señal digital en el pin de datos. Este sensor se colocó en el centro del cultivo a una altura aproximada de 1 m a partir de la superficie de la cama del cultivo.

Controlador y procesador de señales

Este es el corazón de todo el sistema de automatización que contienen los circuitos que realizan las siguientes funciones:

- Genera la señal alterna, hace el barrido de frecuencias y la distribuye a cada sección del cultivo para medir la impedancia eléctrica.
- Recibe y procesa la señal de todos los sensores.
- Controla las bombas y electroválvulas del sistema de fertirrigación.
- Envía y recibe información hacia y desde el servidor remoto.
- Establece comunicación directa con la aplicación mediante conexión Bluetooth.

Para establecer comunicación con el servidor remoto es necesaria la conexión a internet. Debido a que el invernadero se encuentra lejos de un punto de acceso, la conexión se hace por medio de la red celular (los circuitos diseñados se encargan de esta acción), por lo que el sistema requiere una tarjeta SIM (Subscriber Identity Module, popularmente conocida como “chip”) con saldo o un plan de datos vigentes. Los circuitos impresos

se diseñaron en el software Proteus y fueron fabricados mediante una técnica artesanal. En la Figura 3 se puede ver el interior del gabinete de control que alberga a todos estos circuitos. La conexión con los distintos sensores y hardware del sistema de riego se hace de manera alámbrica, debido a la corta distancia que tienen entre sí.

Para monitorear todas las variables medidas del sistema de automatización, se diseñó una aplicación móvil (celulares o tabletas) para el sistema operativo Android. Adicionalmente se pueden controlar de manera manual las bombas y electroválvulas, siempre y cuando el usuario, por motivos de seguridad, tenga los permisos necesarios para su aplicación. En la Figura 4 se muestra la pantalla principal de la aplicación, donde se pueden apreciar los distintos controles y variables del sistema. Mediante esta aplicación también es posible cambiar varios parámetros del sistema, como ganancias de control, valores de referencia, hora y fecha del sistema, etc. Sin embargo, para realizar algún cambio sobre estos parámetros que se consideran importantes, se tiene que conectar directamente al sistema de control mediante conexión Bluetooth, la cual está protegida por una contraseña.

Lo anterior para que, una vez se hayan cambiado los valores, el usuario (que debe estar capacitado para cambiar estos valores) verifique el correcto funcionamiento del sistema en el invernadero.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una vez preparadas las soluciones fertilizantes, se midió la conductividad eléctrica mediante un conductímetro comercial para soluciones acuosas. Los resultados se presentan en el Cuadro 1. Sin embargo, como es de esperarse para un suelo sin fertilizar, la conductividad del suelo, una vez realizado el riego, es menor a estos valores y depende mucho de las características propias de ese suelo en específico.

Para la estrategia de control, se definió un umbral de referencia o zona de operación deseada para cada bloque, según su tratamiento; esto es, un valor mínimo y un valor máximo deseado de conductividad eléctrica medida en el suelo. De manera automática, los sensores se leen y toda la información (estado de sensores y actuadores) se envía al servidor cada 60 minutos. Además, con esto se ahorran “datos celulares”, lo cual se traduce en un menor costo de operación; aunque cabe señalar que con las tarifas y planes actuales de telefonía móvil en México, lo anterior no representa un ahorro sustancial. Si el usuario lo requiere, también es posible conocer el estado actual de los sensores y de los actuadores en cualquier momento determinado entre cada periodo

Cuadro 1. Conductividad eléctrica de cada tratamiento.

Concentración de la solución	Conductividad eléctrica (mS/cm) S/cm
100%	2,420
75%	1,989
50%	1,559
0% (agua)	983

Conductividad Eléctrica - Steiner al 75% (bloque 6)

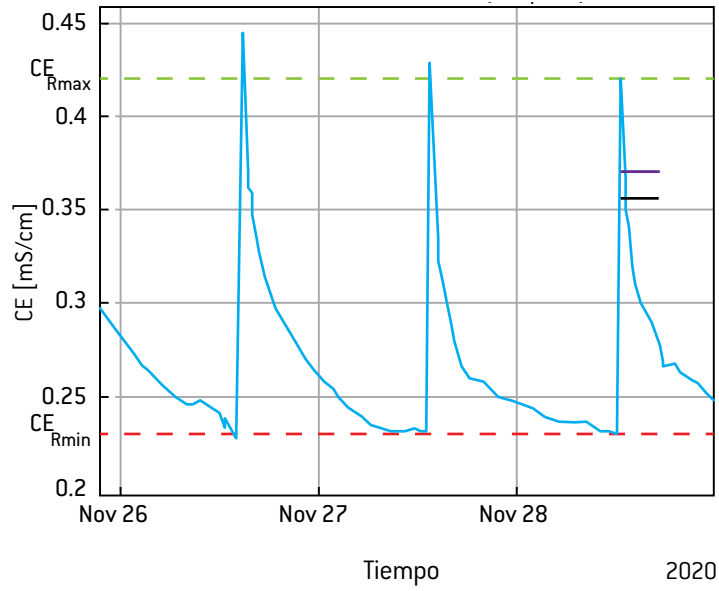


Figura 5. Gráfica de conductividad eléctrica del bloque 6, durante tres días.

A1 CE=0.17 dS Hum=73 %	B1 CE=0.25 dS Hum=81 %	C1 CE=0.35 dS Hum=84 %
A2 CE=0.27 dS Hum=74 %	B2 CE=0.34 dS Hum=85 %	C2 CE=0.45 dS Hum=87 %
A3 CE=0.39 dS Hum=76 %	B3 CE=0.44 dS Hum=88 %	C3 CE=0.18 dS Hum=86 %
A4 CE=0.47 dS Hum=79 %	B4 CE=0.2 dS Hum=87 %	C4 CE=0.29 dS Hum=85 %

Última Actualización: 2020-12-08_16:14:50

Figura 6. pantalla de bloques de la aplicación.

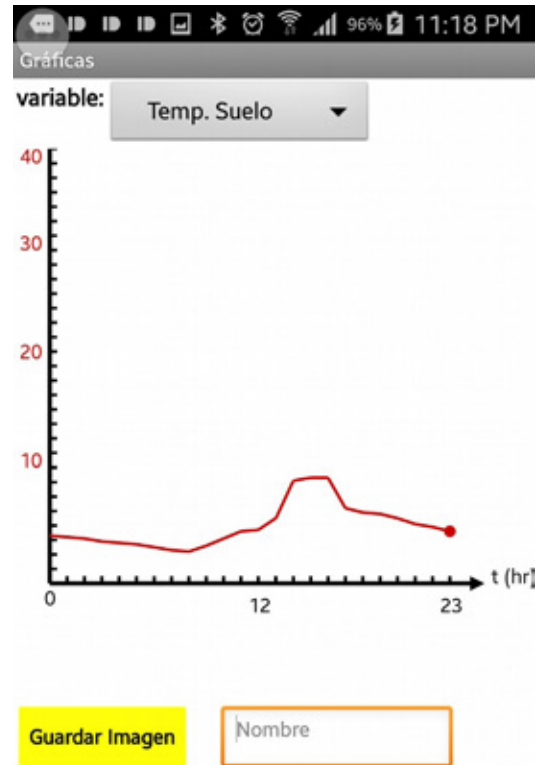


Figura 7. Pantalla de gráficas de la aplicación.

de 60 minutos. Para ello se debe presionar el botón correspondiente de la aplicación “Leer Sens”, lo cual dará la orden al sistema de leer toda la información y subir a la nube.

En la Figura 5 se muestra la conductividad medida durante tres días para uno de los bloques, con el tratamiento de solución Steiner al 75%. En esta gráfica se puede apreciar el momento en que entra en acción el riego, aproximadamente a la misma hora cada día, lo que sube rápidamente el valor de conductividad en cuestión de minutos. Los valores de la zona de referencia para este tratamiento se definieron como

$$CE_{R_{\min}} = 0.23 \text{ mS/cm y } CE_{R_{\max}} = 0.42 \text{ mS/cm.}$$

Se pueden observar algunos sobretiros más allá de los valores de referencia, esto debido principalmente a dos factores: la frecuencia de muestreo, que cuando están actuando las bombas y electroválvulas es de 5 minutos, y la propia inercia del sistema (dinámica de la solución en el suelo).

El resto de los bloques se comportó de manera homogénea, esto es, con una tendencia similar, de acuerdo con su tratamiento y valores de umbral correspondientes.

En la Figura 6 se muestra la pantalla de visualización de bloques de la aplicación móvil, donde se pueden monitorear en tiempo real y de manera remota los valores de conductividad y de humedad de cada bloque experimental. En la parte inferior aparece la fecha y la hora en que los datos se almacenaron, con el propósito de que el usuario tenga la certeza de que son actuales y de que el sistema sigue funcionando normalmente.

El resto de las variables se pueden monitorear desde la pantalla principal o en la pantalla de gráficas. En la Figura 7 se muestra la pantalla de gráficas de la aplicación, en la cual el usuario puede ver el comportamiento de cualquiera de las variables medidas en las últimas 24 horas, las cuales pueden guardarse, para futuras referencias, como archivo de imagen en el dispositivo móvil.

CONCLUSIONES

Se diseñó y se construyó un sistema de control automático de fertirrigación para un invernadero basado en el paradigma de la Agricultura 4.0. El desempeño del sistema resultó ser efectivo para controlar la conductividad eléctrica dentro de una zona o umbral de referencia. Aunque este rango de referencia definido para cada bloque experimental puede no ser el óptimo para el cultivo utilizado en este trabajo, los valores pueden modificarse para establecer una zona diferente, que incluso puede ir cambiando de acuerdo con el estado fenológico del cul-

tivo, siempre y cuando esos valores sean alcanzables por el tratamiento correspondiente y no estén limitados por la interacción del suelo y la solución. No obstante, la prioridad en este trabajo se concentró en el sistema de control y la aplicación móvil.

Adicionalmente, el tratamiento de los datos, así como las conexiones correspondientes funcionaron como se esperaba. Toda la información histórica de los sensores y el estado de los actuadores fueron almacenados correctamente en la nube.

El consumo de datos nunca rebasó el plan contratado, por lo que podría aumentarse el flujo de datos con el servidor, por ejemplo, con fotografías del cultivo para llevar un registro de su crecimiento.

Por otra parte, la aplicación móvil demostró ser eficaz para monitorear las variables medidas y el estatus de las bombas y electroválvulas del sistema de riego en el invernadero. Tener esta información en cualquier instante y en cualquier lugar (siempre y cuando tenga una conexión a internet), puede ser de gran importancia para el productor, ya que podrá tener mayor control sobre sus cultivos y realizar acciones preventivas y/o correctivas.

Las variables agronómicas del cultivo como altura de la planta, número de hojas y largo de raíz, además de otras, no pudieron relacionarse con el desempeño del sistema, ya que este último comenzó a funcionar en su totalidad en una etapa avanzada del cultivo, esto debido a los ajustes y sintonizaciones que tuvieron que realizarse, al ser un sistema nuevo y único. Además, como ya se mencionó anteriormente, los valores de CE deseada no fueron los óptimos.

Como trabajo futuro, queda repetir los experimentos con el mismo cultivo u otros diferentes.

LITERATURA CITADA

- BONACHELA, S.; González, A.M.; Fernández, M.D. 2016. Irrigation scheduling of plastic greenhouse vegetable crops based on historical weather data. *Irrig. Sci.*, 25, 53-62.
- CHANDAN kumar Sahu, Pramitee Behera. 2015. “A Low Cost Smart Irrigation Control System”, IEEE Sponsored 2nd International Conference on Electronics and Communication System (ICECS).
- D. VEERA Vanitha, S.Nivitha, R.Pritha, J.Saranya, T.Shobika. 2017. “Automatic Drip Irrigation System using Raspberry PI and Wireless Sensor Networks”. *IJRSET*.
- DE CLERCQ M., Vats A., Biel A. 2018. Agriculture 4.0: the future of farming technology. *World Government Summit / Oliver Wyman*.
- EHRET, D.L.; Lau, A.; Bittman, S.; Lin, W.; Shelford, T. 2001. Automated monitoring of greenhouse crops. *Agronomie* 21, 403-414.

- HANS-PETER K Läring. 2001. Strategies to control water and nutrient supplies to greenhouse crops. A review * Institute of Vegetable and Ornamental Crops Großbeeren/Erfurt e.V., Theodor-Echtermeyer- Weg 1, 14979 Großbeeren, Germany, *Agronomie* 21, 311-321 © INRA, EDP Sciences.
- HEINEN M., 2001, Dynamics of water and nutrients in closed, recirculating cropping systems in glasshouse horticulture. With special attention to lettuce grown in irrigated sand beds, Ph.D. thesis, Wageningen Agricultural University, The Netherlands.
- KALA Meah, Jason Forsyth & James Moscola. 2019. A Smart Sensor Network for an Automated Urban Greenhouse. International Conference on Robotics, Electrical and Signal Processing Techniques (ICREST), 2019.
- KITTA, E.; Bartzanas, T.; Katsoulas, N.; Kittas, C. 2015. Benchmark irrigated under cover agriculture crops. *Agric. Sci. Procedia* 4, 348-355.
- PARAMESWARAN, G., Sivaprasath, K. 2016. "Arduino Based Smart Drip Irrigation System Using Internet Of Things" *IJESC*, Volume 6 Issue No. 5.
- RABOBANK. World Vegetable Map 2018. RaboResearch Food & Agribusiness. Disponible en línea: https://research.rabobank.com/far/en/sectors/regional-food_agriworld_vegetable_map_2018.html (acceso el 20/sep/2021).
- SRI Jahnavi & Shaik Fayaz Ahamed. 2015. Smart Wireless Sensor Network for Automated Greenhouse, *IETE Journal of Research*, 61:2, 180-185, DOI: 10.1080/03772063.2014.999834
- ZAZUETA, and J. Xin. 2004. "Soil Moisture Sensors" *Bulletin* 292; University of Florida: Gainesville, FL, USA.