

IoT-based system for temperature and relative humidity monitoring in greenhouses

Euribiel Valdés, Bacherlor¹, Edwin Collado, PhD^{1,2}, and Yessica Sáez, PhD^{1,2,*}

¹Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá, euribiel.valdes25@gmail.com, {edwin.collado, yessica.saez}@utp.ac.pa

²Centro de Estudios Multidisciplinarios en Ciencias, Ingeniería y Tecnología-AIP (CEMCIT-AIP), Panamá

*Autor de correspondencia: yessica.saez@utp.ac.pa

Abstract– Climate change is causing worldwide concern since it represents one of the main causes of the agro-climatic variations that affect the crops of many producers. These variations are expected to not only maintain but also continue to increase, which puts agricultural production and food security at risk. This article proposes a system for temperature and relative humidity monitoring in greenhouse structures, with the aim of providing a technological solution based on the Internet of Things (IoT) that helps the agricultural sector to avoid losses in crops due to climate change. The proposed system consists of measuring stations within the structure of a greenhouse, with a specific number of temperature and relative humidity sensors. These stations later send (wirelessly) all the collected data to an online platform and in real-time, where it is all presented in graphic form. Users will have full access to the platform through any electronic device capable of connecting to the Internet. The results of this system show that it will contribute to providing the producer with an efficient and easy to use tool that monitors the agro-climatic variables inside and outside the greenhouse structures. This will help them to know the behavior in these structures to improve the production and the quality of their crops, as well as to prevent on time variations that do not go according to the conditions of the crops, thus avoiding losses in the production.

Keywords– Sensor networks, IoT, agro-environmental monitoring, temperature, relative humidity, greenhouses.

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.113>

ISBN: 978-958-52071-4-1 ISSN: 2414-6390

Sistema basado en IoT para monitoreo de temperatura y humedad relativa en invernaderos

IoT-based system for temperature and relative humidity monitoring in greenhouses

Euribiel Valdés, Bacherlor¹, Edwin Collado, PhD^{1,2}, and Yessica Sáez, PhD^{1,2,*}

¹Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá, euribiel.valdes25@gmail.com, {edwin.collado, yessica.saez}@utp.ac.pa

²Centro de Estudios Multidisciplinarios en Ciencias, Ingeniería y Tecnología-AIP (CEMCIT-AIP), Panamá

*Autor de correspondencia: yessica.saez@utp.ac.pa

Resumen—Panamá ha sufrido diversos eventos climáticos como alteraciones en la precipitación que modifican los periodos de cosecha y siembra, así como los aumentos en la temperatura y humedad relativa que propician la propagación de plagas y enfermedades en los cultivos, los cuales han afectado al sector agropecuario y la seguridad alimentaria de la población panameña. Por tal razón, gran parte de las investigaciones y proyectos en el país se orientan hacia la adaptación al cambio climático. En este artículo se propone un sistema de monitoreo de temperatura y humedad relativa para estructuras de invernaderos, con el objetivo de proveer una solución tecnológica basada en Internet de las Cosas (IoT) que ayude al sector agrícola a evitar pérdidas en los cultivos debido al cambio climático. Este sistema consta de estaciones de medición dentro de la estructura de un invernadero, con un número específico de sensores de temperatura y humedad relativa que envían, vía inalámbrica, los datos recolectados a una plataforma online, en donde se presentan en tiempo real de forma gráfica. Los resultados muestran que este sistema no solo brinda información de datos almacenados y en tiempo real, sino también información importante como valores mínimos, máximos y promedios de temperatura y humedad relativa, los cuales pueden ser visualizados por los usuarios desde cualquier dispositivo electrónico capaz de conectarse a la Internet, brindándoles una herramienta eficiente y fácil de utilizar. Se concluye que este sistema representa una solución que ayudará al productor a conocer el comportamiento de variables agroclimáticas en estructuras de invernadero, lo cual ayudará a mejorar la producción y la calidad de sus cultivos, así como también prevenir a tiempo variaciones que no van de acuerdo con las condiciones de los cultivos, evitando así pérdidas en la producción

Keywords-- Red de sensores, IoT, monitoreo agroambiental, temperatura, humedad relativa, invernaderos

Abstract—Panama has suffered various climatic events such as changes in precipitation that modify the harvest and planting periods, as well as increases in temperature and relative humidity that promote the spread of pests and diseases in crops, which have affected the agricultural sector and the food security of the Panamanian population. For this reason, much of the research and projects in the country are oriented towards adaptation to climate change. This article proposes a temperature and relative humidity monitoring system for greenhouse structures, with the aim of providing a technological solution based on the Internet of Things (IoT) that helps the agricultural sector to avoid crop losses due to

change climate. This system consists of measurement stations within the structure of a greenhouse, with a specific number of temperature and relative humidity sensors that send the collected data wirelessly to an online platform, where they are presented in real time in graphic form. The results show that this system provides important information such as minimum, maximum and average values of temperature and relative humidity, which can be viewed by users from any electronic device capable of connecting to the Internet, providing them with an efficient and easy-to-use tool. It is concluded that this system represents a solution that will help the producer to know the behavior of agroclimatic variables in greenhouse structures, which will help to improve the production and quality of their crops, as well as to prevent in time variations that are not according to the crop conditions, thus avoiding losses in production

Keywords-- Sensor networks, IoT, agro-environmental monitoring, temperature, relative humidity, greenhouses.

I. INTRODUCCIÓN

La amenaza del cambio climático está causando preocupación a nivel mundial entre los científicos, ya que variables climáticas claves para el crecimiento de los cultivos como temperatura, humedad relativa y precipitación, están cambiando y afectando severamente la producción agrícola. Aunque los efectos de los cambios en el clima sobre la producción de cultivos varían ampliamente de una región a otra, se espera que los cambios climáticos anticipados tengan grandes efectos, principalmente en zonas tropicales de países en desarrollo [1], [2].

La agricultura ha sido una de las actividades económicas más afectadas por el calentamiento global. Con ello se verá perjudicada la seguridad alimentaria en sus diferentes ámbitos (acceso, estabilidad, nutrición), debido a la afectación de la producción de alimentos, al impacto en los precios e ingresos y, por consiguiente, en la capacidad de compra de alimentos, principalmente en las poblaciones más vulnerables. Además, a largo plazo, el cambio climático también afectará las inversiones, la localización de los cultivos y actividades productivas y a las poblaciones que dependen de estas actividades [3]-[5].

En Centroamérica, por ejemplo, se espera una reducción muy importante de la productividad del maíz, los frijoles y el arroz, cultivos que cubren el 90% de la producción destinada al consumo interno [5]. En el Caribe, en el caso de Cuba, habría afectaciones en las producciones de arroz, papa, tabaco

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.113>

ISBN: 978-958-52071-4-1 ISSN: 2414-6390

y la producción porcina, debido a la disminución de las áreas óptimas para los cultivos por la influencia negativa de la instrucción salina, el aumento de la temperatura media diaria, el impacto de plagas y enfermedades, en especial las fúngicas, y por los efectos negativos de la sequía [5].

Por su parte, Panamá ha sufrido diversos eventos climáticos que han afectado al sector agropecuario y la seguridad alimentaria de la población panameña. Algunos de los impactos más relevantes observados en Panamá son las alteraciones en la precipitación que modifican los periodos de cosecha y siembra, así como los aumentos en la temperatura y humedad relativa que propician la propagación de plagas y enfermedades en los cultivos. Esta situación pone en riesgo la seguridad alimentaria del 52% de la población rural de la región que depende de cultivos como el arroz, el maíz y el frijol [6]-[8]. Es por esto que el Ministerio de Desarrollo Agropecuario (MIDA) en conjunto con el Ministerio de Ambiente de Panamá (MiAMBIENTE) en colaboración con el Programa de Investigación CGIAR en Cambio Climático, Agricultura y Seguridad Alimentaria (CAAFS) en América Latina y con apoyo del Consejo Agropecuario Centroamericano (CAC), presentaron el “Estado del Arte en Cambio Climático, Agricultura y Seguridad Alimentaria de Panamá”, que incluye el marco gubernamental y actores involucrados en torno a esta temática [6]. En este documento se evidencia que gran parte de las investigaciones y proyectos en el país se orientan hacia la adaptación al cambio climático.

Existen soluciones tecnológicas y resultados de proyectos de investigación interesantes para ayudar al sector agrícola a evitar pérdidas en los cultivos debido a la inestable situación del cambio climático. Hay evidencia de estudios relacionados con invernaderos inteligentes que brindan una herramienta eficiente para el monitoreo de variables agroclimáticas para el desarrollo eficiente de cultivos utilizando tecnología de sistema global para las comunicaciones móviles (del inglés Global System for Mobile communications, GSM) [9]-[11], de Radiofrecuencia (RF) [11], [12] y Zigbee [13]-[15]. También podemos citar el proyecto desarrollado por el Tecnológico de Monterrey, Campus, Ciudad de México, con el cual se busca proponer un modelo innovador que mejore la calidad y cantidad de los cultivos hidropónicos de la región, enfrentando al mismo tiempo el reto de la sustentabilidad [16]. Su enfoque está basado en el desarrollo sustentable considerando un diseño que integra sistemas confiables, sencillos, eficientes, ecológicos y de bajo costo, con la finalidad de lograr la automatización y control del microambiente en apoyo de las tareas diarias del agricultor. La aplicación de técnicas de control mediante lógica difusa ayuda al invernadero a regular las variables ambientales para generar un microclima que garantiza el óptimo desarrollo del cultivo.

Otro estudio importante es el realizado por la Universidad Tecnológica de Israel donde proponen el diseño e implementación de un prototipo de sistema de control, supervisión de temperatura y humedad, para cultivos caseros bajo invernadero, utilizando el módulo Arduino, en la ciudad

de Cayambe [17]. Este proyecto está dedicado a desarrollar un sistema de monitorización y control de invernadero apoyado en la popular plataforma de hardware libre Arduino, comunicación Ethernet y procesamiento para su monitoreo visual.

En la Universidad Politécnica de Quito, se desarrolló un sistema de telecontrol predictivo para un invernadero utilizando tecnología en la nube para la empresa Green-House en Quito, cuyos resultados lograron estabilizar los parámetros adecuados para los cultivos generando ventajas que no se tenían en el sistema tradicional evitando las pérdidas de cultivos y las enfermedades causadas por temperaturas y humedades elevadas [18].

En Panamá, a través del documento presentado en [6], se reconoce la necesidad de reforzar iniciativas en materia de educación ambiental enfocada al cambio climático y en la divulgación de las medidas de adaptación y mitigación en el país. Sin embargo, aún son pocos los proyectos de desarrollo tecnológico orientados a brindar apoyo al sector agroindustrial. Por tal motivo, en este artículo se propone un diseño de un sistema de monitoreo capaz de medir, de manera eficiente y rápida, la temperatura y humedad relativa dentro de un invernadero, con el objetivo de proveer al productor una herramienta que facilite su trabajo y mejore su producción. El sistema está compuesto de estaciones con sensores de alto rendimiento instaladas para monitorear completamente las estructuras de invernaderos. Además, este sistema consta de una plataforma que permite almacenar y visualizar en tiempo real la información del ambiente y exportar las mediciones de tal manera que puedan estudiarse posteriormente.

Los resultados de este trabajo muestran que el sistema propuesto no solo brinda información de datos almacenados y en tiempo real, sino también información importante como valores mínimos, máximos y promedios de temperatura y humedad relativa dentro del invernadero, los cuales pueden ser visualizados por los usuarios desde cualquier dispositivo electrónico capaz de conectarse a la Internet, brindándoles una herramienta eficiente y fácil de utilizar.

Las iniciativas políticas desarrolladas para apoyar al sector agrícola y el rápido crecimiento tecnológico en Panamá han creado el escenario ideal para la implementación de soluciones tecnológicas como la propuesta en este trabajo, para ser implementadas a gran escala en todo el territorio nacional [19]. Por lo tanto, una vez implementado y replicado en diversas regiones del país, este sistema representa una solución que ayudará al productor panameño a conocer el comportamiento de variables agroclimáticas en estructuras de invernadero, lo cual ayudará a mejorar la producción y la calidad de sus cultivos, así como también prevenir a tiempo variaciones que no van de acuerdo con las condiciones de los cultivos, evitando así pérdidas en la producción. Además, con la plataforma de recolección, almacenamiento y análisis de datos de fácil acceso, se podrá visualizar las variables agroclimáticas y generar indicadores para ser estudiados por empresas dedicadas al área de la agricultura.

El artículo está organizado de la siguiente manera. La sección II describe los materiales y métodos del sistema, incluyendo el modelo conceptual del sistema en general, el diseño conceptual y electrónico de las estaciones de medición y el diseño de la red de comunicaciones a utilizar. La sección III ilustra los resultados y la sección IV presenta las conclusiones y futuros trabajos de investigación considerados.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo propuesto consiste en un sistema de monitoreo de variables agroclimáticas para estructuras de invernaderos que le brinde al productor información en tiempo real para la toma de decisiones pertinentes para mejorar la calidad en la producción de sus cultivos y reducir las pérdidas de productos.

El proyecto se desarrolló en dos fases. En la primera fase se realizó el diseño e implementación de sistema de monitoreo de variables agroclimáticas con sensores de alto rendimiento y módulos comunicación inalámbrica. En una segunda etapa se contempló el diseño del sistema para la recolección, almacenamiento y análisis de datos para evaluar cambios significativos en los cultivos que vayan a afectar su desarrollo. Una vez culminadas las fases de validación, el sistema se implementó en la Región Central de Panamá, específicamente en Río Hato, Coclé, en donde la realización de labores dentro de los invernaderos está fuertemente relacionada con el cultivo y producción de plantas hortalizas. La información actualizada en tiempo real sobre las variables agroclimáticas dentro de las estructuras de invernaderos se recolectó y presentó gracias al uso de tecnologías de comunicación en sistemas de agricultura en ambientes controlados.

En este artículo nos enfocamos en las pruebas realizadas con prototipos electrónicos diseñados e implementados en entornos controlados. El diseño ergonómico/modular de carcasas, circuitos PCB y demás componentes electrónicos fueron realizados en el laboratorio de prototipaje de la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Tecnológica de Panamá. Finalmente, luego de ser validados los prototipos, se realizaron pruebas dentro de las estructuras de invernaderos con miembros del grupo de trabajo.

A. Modelo Conceptual del Sistema Propuesto

La Fig. 1 muestra el sistema propuesto para el monitoreo de variables agroclimáticas dentro de una estructura de invernadero.

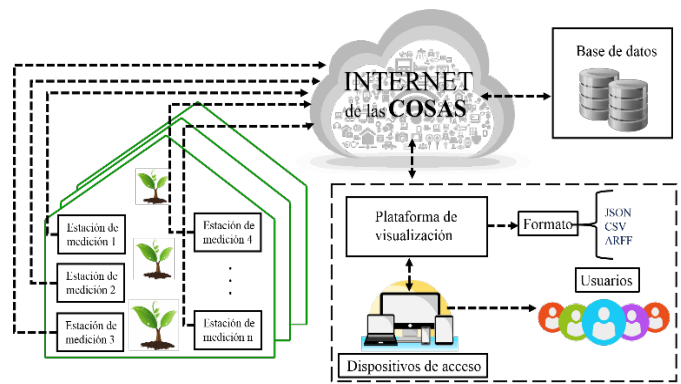


Fig. 1. Diseño conceptual del sistema de monitoreo propuesto.

En este sistema las estaciones de monitoreo se distribuyen uniformemente en las zonas de estudio. Estas estaciones están basadas en tecnología programable de microcontroladores [20], [21], la cual permite construir dispositivos digitales e interactivos para sensar y controlar objetos del mundo real y facilitar el uso de la electrónica y programación de sistemas embebidos en proyectos multidisciplinarios.

Cada estación de medición consta con sensores que miden los niveles de temperatura y humedad relativa en las estructuras de invernaderos, los cuales han sido considerados como los principales factores ambientales que afectan los cultivos [3], [4]. Cada uno de los dispositivos encargados de medir las variables envía, mediante una red inalámbrica, la información a un dispositivo central (base de datos) que recolecta, procesa y envía (vía Internet) la información sobre las variables agroclimáticas a una plataforma de visualización para ser analizada en tiempo real [22]. Esta plataforma permite también configurar una serie de servicios de alertas o avisos mediante email, mensaje y/o llamada, permitiendo una mejor reacción para controlar algún parámetro que esté fuera de los rangos establecidos en el sistema. Esta información no solo puede ser observada desde el dispositivo central, sino que también puede ser accedida desde cualquier dispositivo móvil a través del uso de la plataforma conectada a la Internet. Toda esta información puede ser exportada en formatos (JSON, CVS y ARFF) para el análisis en computadora de datos matemáticos y optimización, para el desarrollo eficaz del sistema.

B. Funcionamiento de la Estación de Medición

El sistema propuesto consta de múltiples estaciones de medición compuestas por un dispositivo microcontrolador y los sensores de temperatura y humedad relativa, tal como se muestra en la Fig. 2.

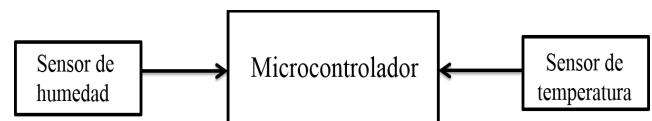


Fig. 2. Diagrama de bloques de una estación de medición.

El dispositivo microcontrolador es el encargado de recolectar la información proveniente de los sensores de forma periódica. Luego, esta información es enviada vía Wifi hacia la plataforma de almacenamiento y procesamiento de datos, la cual permite al usuario observar en tiempo real cada uno de los valores medidos por los sensores, utilizando dispositivos móviles como una computadora, celular o Tablet. El diseño gráfico de la plataforma utilizada se configura de tal manera que los usuarios pueden interpretar y leer de una manera fácil cada uno de los datos obtenidos en tiempo real.

Inicialmente, las mediciones se realizaron en un entorno de laboratorio, manejando data de una cantidad n de estaciones, ubicándolas de tal forma que se pudieran obtener variaciones en las mediciones. Posteriormente, para la implementación de las estaciones de medición en las estructuras de invernaderos se trabajó en conjunto con ingenieros agrónomos, quienes brindaron información detallada acerca del funcionamiento de los invernaderos. Esto nos ayudó a realizar una investigación apropiada para determinar la ubicación y características de las estaciones, todo esto con el fin de diseñar un sistema óptimo que ayude a mejorar la producción y evitar pérdidas en los cultivos.

C. Diseño electrónico de las estaciones de medición

Es importante describir el diseño electrónico de los sensores de temperatura y humedad relativa que se conectaron al dispositivo microcontrolador, el cual es un componente clave de la estación de medición por su habilidad de brindar información en tiempo real. El modelo de los microcontroladores utilizados en este proyecto poseen componentes de I/O (entrada/salida) para controlar, monitorear o incluso automatizar procesos. Los mismos incluyen un procesador y memoria (flash y RAM) para guardar los programas, sus variables y ejecutarlos.

Por otro lado, los sensores, los cuales son los dispositivos que miden las magnitudes físicas de temperatura y humedad relativa, son dispositivos digitales (aunque dependiendo del fabricante y del tipo de tecnología se pueden encontrar también analógicos).

Para la selección de estos dispositivos se tomaron en cuenta las condiciones de operación (voltajes, sistemas operativos, librerías, etc.) y el rango de medida, precisión, sensibilidad, resolución, rapidez de respuestas, entre otros, los cuales son aspectos importantes y que nos definen la calidad del sensor para realizar proyectos embebidos. Además, se verificó que estos sensores cumplieran con las siguientes expectativas:

- 1) Leer de forma eficiente las distintas variables ya mencionadas.
- 2) Validar cada uno de los valores registrados por los sensores, con dispositivos de medición comerciales, para certificar su precisión.

Es importante mencionar que, por lo general, cada sensor viene calibrado de fábrica para obtener valores más precisos de calibración guardados en su memoria OTP (One Time Programmable), asegurando alta estabilidad y fiabilidad a lo

largo del tiempo. En este caso, se dispone del uso de una librería provista por el fabricante con los métodos necesarios para recolectar sus mediciones. El protocolo de comunicación entre el sensor y el microcontrolador emplea un único cable con una distancia máxima recomendable de longitud de 20m, para el cual se recomienda utilizar cable apantallado para proteger el sensor de la luz directa del sol (radiación UV).

Una vez validadas las estaciones, se realizó un diseño de placa CNC para la conexión rígida de cada uno de los sensores y una impresión 3D que cubriera los dispositivos y así prolongar su duración una vez implementados en los invernaderos.

D. Descripción del diseño de la red de comunicación inalámbrica

La conexión de las estaciones de medición agroclimática con la plataforma de visualización se llevó a cabo mediante conexión inalámbrica, específicamente WiFi, gracias al módulo que viene integrado en el microcontrolador. En concreto, se utilizó el módulo 1T1R Wi-Fi 802.11 b/g/n (2.4G), el cual es un módulo que trabaja a una conexión inalámbrica de hasta 150 Mbps, basado en Realtek RTL8188ETV, soporte de estándares IEEE 802.11b, IEEE 802.11g, IEEE 802.11n y diseñado para proporcionar un excelente rendimiento con un bajo consumo de energía.

Las estaciones de medición son conectadas a Internet a través de la conexión entre el microcontrolador y la red local mediante el punto de acceso WiFi, como se muestra en la Fig. 3. Esto permitió que los usuarios pudieran acceder a la información generada por cada estación conectada a Internet, el cual es el objetivo de los sistemas basados en IoT. Con esto, el usuario desde el navegador de su dispositivo móvil pudo acceder a la plataforma de visualización mediante un menú bastante intuitivo y fácil de interpretar. Es importante mencionar que, conscientes de los problemas de ciberseguridad actuales, la plataforma ofrece un certificado de seguridad TSL (Transport Layer Security) que son protocolos criptográficos que proporcionan comunicaciones seguras por una red cifrando los datos entre las dos partes y que se puede tomar como referencia el antecesor conocido como SSL (Secure Socket Layer).

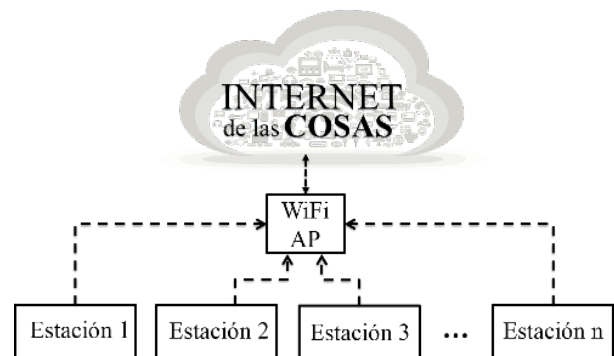


Fig. 3. Diseño conceptual de la red de comunicación inalámbrica.

E. Plataforma de monitoreo

Para visualizar los datos monitoreados en el proyecto, se consideró una plataforma libre disponible para una gran variedad de microcontroladores y que cuenta con una conexión segura y eficiente. En esta plataforma, es necesario conocer cada parámetro de la codificación según el dispositivo a utilizar (librerías, credenciales, etc.) para establecer una conexión segura. Una vez establecida esta conexión la plataforma brinda los siguientes servicios:

- 1) *Estadísticas*: observamos los bytes de información transmitida y ubicación del dispositivo.
- 2) *Cuadros de mando*: Es donde seleccionamos la variable declarada en nuestro código para determinar sus valores de manera gráfica, barras, tacómetros, entre otros. Además, podemos definir intervalos de muestreo para cada variable.
- 3) *Dispositivos conectados*: Podemos observar el estado de todos los dispositivos registrados en la plataforma, ya sea habilitado o deshabilitado.
- 4) *Cubos de datos*: Base de datos donde se guarda la información recolectada. Esta nos permite seleccionar el tipo de formato que queremos los resultados ya sea: EXCEL, JASON O ARFF. Además, se puede establecer cada que tiempo queremos el registro de datos.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Esta sección presenta los resultados más relevantes obtenidos en las pruebas de validación en laboratorio y su implementación en un invernadero. La primera etapa del proyecto consistió en validar el funcionamiento de todos los sensores adquiridos. En la Fig. 4, se muestra el prototipo inicial de la estación de medición con los sensores captando los datos de temperatura y humedad relativa, donde se utilizó un medidor comercial de alta precisión para efectos de calibración y verificación del funcionamiento.



Fig. 4 Calibración y validación de sensores.

Una vez validados los sensores en laboratorio, se procedió a realizar el diseño y construcción del Hardware del sistema, específicamente los circuitos electrónicos con sus respectivas carcasas. Por un lado, las placas PCB de las estaciones de medición fueron diseñadas mediante el Software EasyEDA, un Software gratuito para el diseño de circuitos impresos [23]. Dichos diseños fueron fabricados utilizando una máquina CNC. Durante el diseño de PCB fue importante considerar las dimensiones para que la placa fuese del menor tamaño posible y ahorrar la mayor cantidad de material. Por otro lado, el diseño 3D y carcasas para placas fueron realizados mediante el Software Autocad [24], las cuales posteriormente fueron impresas mediante una impresora 3D PrusaSlicer. Es importante mencionar que para el diseño mecánico se evaluó la ubicación donde serían instaladas las estaciones y las dimensiones con las que se contaban, tomando en cuenta el diseño PCB para fabricar las carcasas de cada módulo. En Autocad se presentaron las acotaciones principales para poder realizar la representación tridimensional de módulos y sensores.

Las imágenes a continuación muestran los resultados de esta etapa.

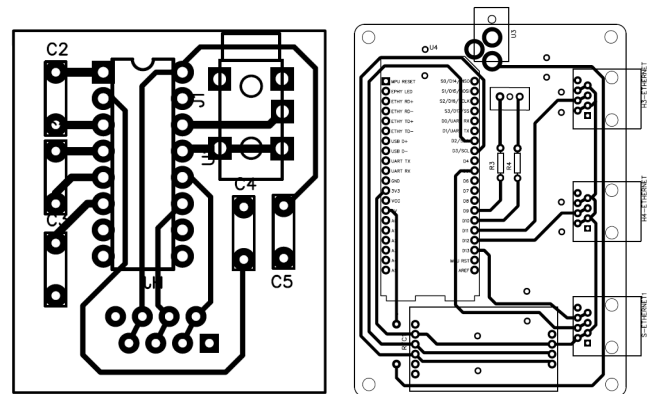


Fig. 5 Diseño electrónico de los sensores y la unidad central

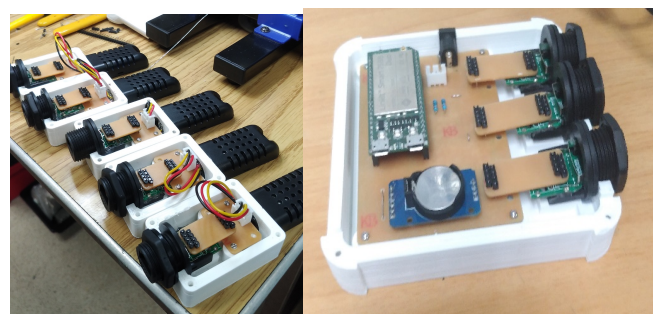


Fig. 6 Diseño electrónico y ergonómico de las estaciones de medición y el módulo central.

Las estaciones de medición y el módulo central fueron instaladas en el invernadero (Ver Fig. 7).



Fig. 7 Estaciones de medición y el módulo central instalados en el invernadero.

La data cruda generada por el microprocesador y enviada a la base de datos puede ser exportada a archivos EXCEL para su posterior procesamiento y análisis. Los datos pueden ser generados en formatos estándares según la preferencia del usuario, ya sea formato de fecha ISO, unix timestamp second o unix timestamp milisecond. Para este estudio utilizamos la segunda opción, donde logramos interpretar hora y fecha exacta de cada medición. Además, el periodo se puede configurar como segundos, horas, días o meses según la necesidad.

Se recolectó una data exportada a EXCEL, donde se tomaron lecturas de temperatura y humedad relativa durante 8 días. La Fig. 8 muestra los valores de temperatura tomados durante este periodo de tiempo, donde se observan alrededor de 18000 muestras, tomadas cada 30 segundos. Estas mediciones iniciaron en la noche, por lo que se observa cómo la temperatura disminuye durante la madrugada hasta alcanzar el punto más bajo que corresponden al inicio de la mañana. Luego, como es esperado, se observa en el gráfico que el comportamiento de la temperatura dentro del invernadero sigue un patrón similar para cada día.

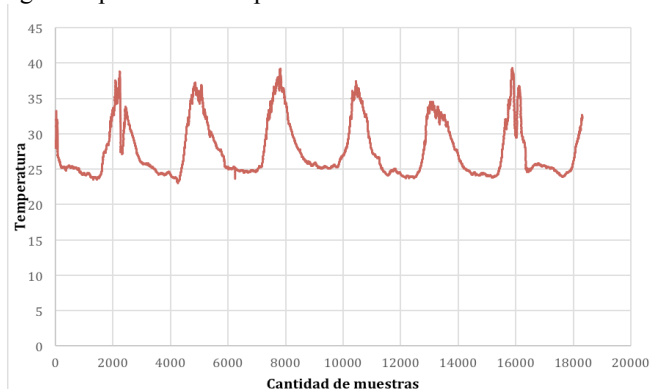


Fig. 8. Datos de temperatura tomados en un periodo de 8 días.

En la Fig. 9 se muestran los valores de humedad relativa tomados cada 30 segundos, también en el mismo periodo de 8 días. Nuevamente se obtuvieron alrededor de 18000 muestras, en donde pudimos observar que la humedad relativa también sigue un patrón diario.

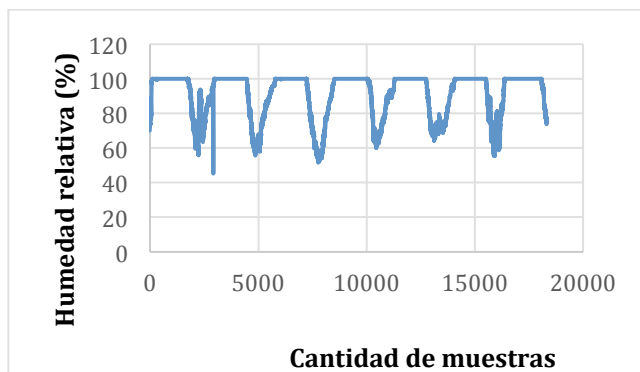


Fig. 8. Datos de humedad relativa tomados un periodo de 8 días.

Una de las grandes ventajas de este sistema y de la plataforma de monitoreo, es que el usuario puede extraer datos según su conveniencia y su necesidad. A continuación se muestran gráficos con valores mínimos, máximos y promedios de temperatura y humedad relativa, correspondientes a los días del 15 de agosto de 2019 al 22 de agosto de 2019.



Fig. 9. Valores mínimos, máximos y promedios de temperatura, correspondientes a los días del 15 de agosto de 2019 al 22 de agosto de 2019.

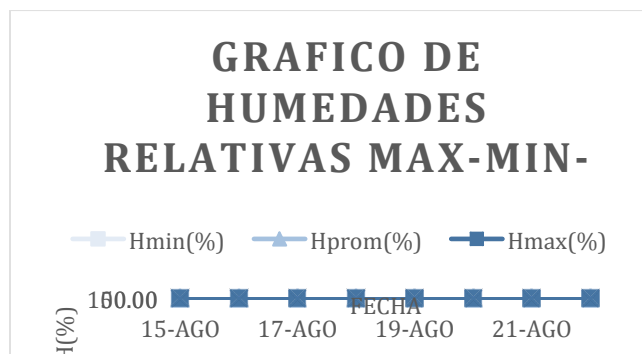


Fig. 9. Valores mínimos, máximos y promedios de humedad relativa, correspondientes a los días del 15 de agosto de 2019 al 22 de agosto de 2019.

Los patrones mostrados, los valores mínimos, máximos y promedios y toda la información que se pueda obtener de este sistema, permitirán a los productores implementar estrategias para mejorar la producción de sus cultivos.

Tal como se describió, las estaciones de monitoreo se conectan, via WiFi, a una plataforma que permite almacenar y visualizar en tiempo real la información del ambiente y exportar las mediciones de tal manera que puedan estudiarse posteriormente. La plataforma de IoT proporciona todas las herramientas necesarias para crear prototipos, escalar y administrar productos conectados de una manera muy simple. La misma nos permite una visualización de los datos en tiempo real de manera gráfica y muy amigable para el productor, tal como se muestra en las Fig. 10 y Fig. 11, que corresponden a capturas de pantalla de un dispositivo móvil mostrando datos en tiempo real y almacenados.

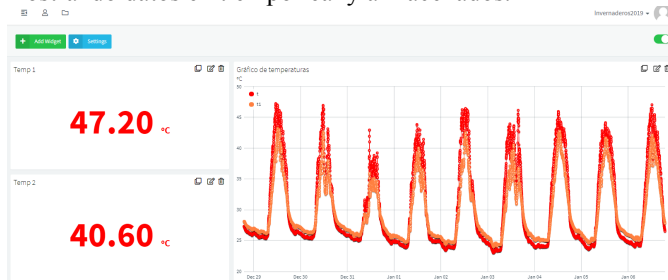


Fig. 10. Datos de temperatura observados desde un dispositivo móvil.

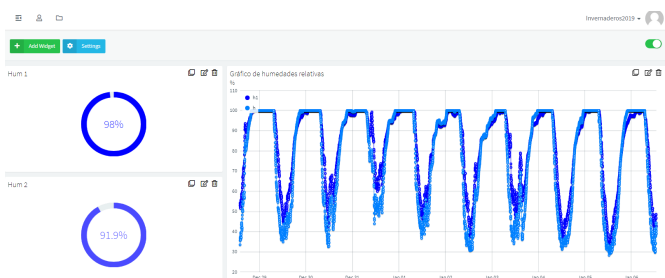


Fig. 10. Datos de humedad relativa observados desde un dispositivo móvil.

IV. CONCLUSIONES

Con el sistema de monitoreo de temperatura y humedad relativa dentro de estructuras de invernaderos se brinda al productor un nuevo enfoque para la implementación de invernaderos, con el fin de crear una herramienta eficiente y fácil de utilizar para monitorear variables agroclimáticas dentro de las estructuras de invernaderos. El problema se formuló para minimizar el tiempo y el porcentaje de error de medición al medir las variables agroclimáticas en el invernadero manualmente. El sistema propuesto intenta resolver el problema proporcionando una medición fiable y en tiempo real, vista desde una plataforma online a la que se puede acceder desde cualquier dispositivo electrónico con conexión a Internet. La motivación que nos llevó a desarrollar este proyecto es la gran cantidad de pérdidas en la producción agrícola en Panamá debido al cambio climático. Por ello, los principales beneficiarios del proyecto son los productores panameños que residen en el país.

Se obtuvieron resultados importantes en las diferentes pruebas realizadas, donde se logró establecer una comunicación estable y segura entre el dispositivo

microcontrolador y la plataforma de monitoreo y además se recopiló información de una semana completa de temperatura y humedad relativa. Esto generó alrededor de 18000 muestras, donde las temperaturas más bajas se presentaron en horas de la mañana. Con respecto a la humedad relativa, se lograron visualizar los puntos máximos, que ocurrieron también en la madrugada producto de las características tropicales del país.

V. TRABAJOS FUTUROS

A futuro se piensa integrar al sistema otros módulos de monitoreo como lo son de humedad de suelo, Ph, electroconductividad, características de viento, radiación y precipitación, que son de gran importancia para el desarrollo de los cultivos. Además, se considera incluir módulos Real-Time Clock (RTC) para sincronizar el envío de información y así darle a nuestro sistema una mayor robustez y confiabilidad. También, se espera agregar un sistema de control automático que a partir de las condiciones de microclima, pueda tomar acciones correctivas dentro de las infraestructuras del invernadero. Para lograr esto, se debe diseñar un módulo adicional a la solución base presentada en este documento. Un ejemplo de una posible acción de control sería que, asumiendo que el productor pueda cargar los tipos de cultivo en cada zona del invernadero al sistema, una vez se cuente con las mediciones, el sistema analice y provea recomendaciones sobre las condiciones que pueden afectar los cultivos. Por ejemplo, temperatura y humedad que produzcan condiciones proclives a la generación de hongos u otras posibles enfermedades. Para lograr esto, la plataforma de visualización debe contar en el dashboard de presentación de datos, con la posibilidad de mostrar la zona e identificar los sensores que han reportado cierta condición climática dentro del invernadero. Aunque esto requeriría desarrollar una plataforma propia, esto daría mayores precisiones al agricultor para tomar acciones correctivas.

Finalmente, es importante mencionar que una vez que todo el sistema de monitoreo de variables agroclimáticas sea validado e implementado, se beneficiará a instituciones de investigación públicas y privadas, ya que les permitiría realizar trabajos investigativos sobre el comportamiento y rendimiento de invernaderos bajo distintos escenarios. Esto se debe a que la plataforma de visualización permite la recolección y presentación de datos, por lo tanto, los productores e investigadores podrán darle valor a los mismos a través de la generación de indicadores y otros tipos de estudios.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido desarrollado dentro del marco del proyecto “Diseño de un sistema de monitoreo remoto de variables agroclimáticas en invernaderos utilizando Arduino”, financiado por la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación-SENACYT bajo el contrato por mérito No. 252-2018. Y. Sáez y E. Collado, agradecen al Sistema Nacional de Investigación (SNI) de Panamá por proporcionar

financiamiento parcial para su participación en las actividades de investigación de este proyecto a través de los contratos por estímulo económico No. 200-2017 y No. 82-2019, respectivamente. Los autores agradecen al Ingeniero Antony García del laboratorio de prototipaje de la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Tecnológica de Panamá, por el apoyo con el diseño ergonómico/modular de carcasas, circuitos PCB y demás componentes electrónicos. Finalmente, se agradece a la Empresa AGROINDUSTRIA SANTA MÓNICA por facilitar las instalaciones del invernadero para la implementación del sistema propuesto.

REFERENCIAS

- [1] M. A. Altieri y C. I. Nicholls, "Cambio climático y agricultura campesina: impactos y respuestas adaptativas," *LEISA revista de agroecología*, vol. 14, pp. 5-8, 2009.
- [2] G. C. Nelson, M.W. Rosegrant, J. Koo, R. Robertson, T. Sulser, T. Zhu, C. Ringler, S. Msangi, A. Palazzo, M. Batka, M. Magalhaes, R. Valmonte-Santos, M. Ewing, y D. Lee "Cambio Climático: El impacto en la agricultura y los costos de adaptación," International Food Policy Research Institute (IFPRI), Octubre 2009.
- [3] L. Pilar, "El cultivo en invernaderos y su relación con el clima," *Cuadernos de Estudios Agroalimentarios (CEA)*, vol. 3, pp. 23-44, Julio 2012.
- [4] S. Impron, "A greenhouse crop production system for tropical lowland conditions," Tesis Doctoral, Wagenigen University, Wagenigen , NL, 2011.
- [5] A. G. Rodríguez, T. T. López, L. E. Meza, y A. M. Loboguerrero, "Innovaciones institucionales y en políticas sobre agricultura y cambio climático: Evidencia en América Latina y el Caribe," Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Diciembre 2015.
- [6] S. Gameda, A. M. Loboguerrero, M. Boa, D. Martínez, G. Martiz, Y. Sierra y L. Vanegas, "Estado del Arte en Cambio Climático, Agricultura y Seguridad Alimentaria en Panamá," Copenhagen, Denmark: CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS), Septiembre 2014.
- [7] J. Mora, D. Ramírez, J. L. Ordas, A. Acosta, y B. Serna, "Panamá: efectos del cambio climático sobre la agricultura," Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Agosto 2010.
- [8] E. Sempris y R. López, "Primera comunicación nacional sobre cambio climático: capítulos sobre vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en Panamá," Aplicación del Desarrollo Sostenible en la Adaptación del Cambio Climático (REDICA), pp. 1-14, 2003.
- [9] Z. Xiaoyan, Z. Xiangyang, D. Chen, C. Zhaozhui, S. Shangming y Z. Zhaozhui, "The design and implementation of the greenhouse monitoring system based on GSM and RF technologies," International Conference on Computational Problem-Solving (ICCP), Jiuzhai, 2013, pp. 32-35.
- [10] B. M. Kiernan, C. Fay, S. Beirne y D. Diamont "Development of an autonomous greenhouse gas monitoring system," En Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology vol 44, pp. 153-157, Noviembre 2018.
- [11] L. García, L. Lunadei, P. Barreiro y I. Robla, "Una revisión de las tecnologías y aplicaciones de sensores inalámbricos en la agricultura y la industria alimentaria: estado del arte y tendencias actuales," *Sensores*, vol. 9, pp. 4728-4750, Junio 2009.
- [12] Y. Chuanan y Y. Yongchang, "Implementation of greenhouse monitoring system based on RF transceiver," The 2nd International Conference on Industrial Mechatronics and Automation, Wuhan, pp. 25-28, Agosto 2010.
- [13] Y. Zhou, X. Yang, X. Guo, M. Zhou y L. Wang, "A Design of Greenhouse Monitoring & Control System Based on ZigBee Wireless Sensor Network," International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, Shanghai, pp. 2563-2567, Octubre 2007.
- [14] J. Baviskar, A. Mulla, A. Baviskar, S. Ashtekar y A. Chintawar, "Real Time Monitoring and Control System for Green House Based on 802.15.4 Wireless Sensor Network," Fourth International Conference on Communication Systems and Network Technologies, Bhopal, pp. 98-103. Mayo 2014.
- [15] L. Dan, C. Xin, H. Chongwei y J. Liangliang, "Intelligent Agriculture Greenhouse Environment Monitoring System Based on IOT Technology," International Conference on Intelligent Transportation, Big Data and Smart City, Halong Bay, pp. 487-490, Diciembre 2015.
- [16] P. F. Cepeda Rode, R. J. Rocha Gamarra, H. E. Ponce Espinosa, A. I. García-Ravizé Guizar, D. C. Romero Díaz, P. Ponce Cruz, y A. Molina Gutiérrez "Invernadero Inteligente basado en un Enfoque Sustentable para la Agricultura Mexicana," In VIII Congreso Internacional sobre Innovación y Desarrollo Tecnológico, Mex, pp.8, Noviembre 2010
- [17] J. C. Caiza, "Diseño e implementación de un prototipo de sistema de control, supervisión de temperatura y humedad, para cultivos caseros bajo invernadero, utilizando el módulo Arduino," Bachelor's thesis, Universidad Tecnológica de Israel, Cayambe, 2016
- [18] L. J. Rojas y J. L. Veintimilla, "Desarrollo de un sistema de telecontrol predictivo para un invernadero usando tecnología Clouding," Bachelor's thesis, Universidad Politécnica de Quito, Quito, Enero 2018.
- [19] E. Collado, A. Fossatti1 and Y. Saez, "Smart farming: A potential solution towards a modern and sustainable agriculture in Panama" *AIMS Agriculture and Food*, vol. 4, pp.266-284, Marzo 2019.
- [20] Seneviratne, Pradeeka. "Internet of Things with Arduino Blueprints." Packt Publishing Ltd, 2015.
- [21] Microcontroladores Arduino. [Online]. Available: <https://www.arduino.cc>.
- [22] Thingier.io. [Online]. Available: <https://thingier.io/>.
- [23] EasyEDA. [Online]. Available: <https://easyeda.com>.
- [24] AutoDESK. [Online]. Available: <https://www.autodesk.com/products/autocad/overview>
- [25] PRUSA3D. [Online]. Available: <https://www.prusa3d.com/prusaslicer/>