

Monitoreo de Temperatura Mediante Red de Sensores para Mejorar el Uso del Agua en la Agricultura Monitoring of Temperature Through a Sensor Network to Improve the Water Usage in Agriculture

Rafael Aguilar-González¹ , Marco Cárdenas-Juárez^{1†} ,
Juan Carlos Rodríguez-Ortiz²  y Mauricio Jesús Romero-Méndez² 

¹ Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Facultad de Ciencias. Av. Parque Chapultepec 1570, Privadas del Pedregal. 78295 San Luis Potosí, S.L.P., México; (R.A.G), (M.C.J.).

[†] Autor para correspondencia: marco.cardenas@uaslp.mx

² Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Facultad de Agronomía y Veterinaria, Carretera San Luis-Matehuala km 145, Ejido Palma de la Cruz. 78321 Soledad de Graciano Sánchez, S. L. P., México; (J.C.R.O.), (M.J.R.M.).

RESUMEN

Las tendencias tecnológicas están presentes en distintas áreas, en el caso de la agricultura es posible encontrar aplicaciones tales como los invernaderos automatizados. Sin embargo, para gran parte de los pequeños productores de países con condiciones similares a México, este tipo de avances tecnológicos significa una inversión difícil de hacer. Afortunadamente, hoy en día, es posible mejorar la productividad del campo con tecnología de costo accesible. En este trabajo, se describe el desarrollo de dispositivos electrónicos para medir temperatura dentro de un invernadero de 1000 m². Estos sensores tienen la capacidad de formar una red, con lo cual se obtuvo la temperatura de varios puntos dentro del invernadero. La información recopilada, fue concentrada en internet y por medio de un algoritmo de interpolación, se determinó aquellas zonas con mayor temperatura. Lo cual permitió realizar riegos puntuales y localizados para hacer uso eficiente del agua. Estas notas de investigación son la primera parte de un proyecto para desarrollar dispositivos electrónicos de costo accesible, capaces de medir las variables climáticas tales como temperatura, humedad relativa y luminosidad, entre otras. Con los datos obtenidos, se podrá calcular el coeficiente de evapotranspiración para estimar la cantidad de agua necesaria en cada zona del cultivo.

Palabras clave: costo accesible, información, optimización, precisión.

SUMMARY

Technological trends are present in different areas, in the case of agriculture, it is possible to find applications such as automated greenhouses. However, for a large part of small producers in countries with conditions like Mexico, this type of technological advance means a difficult investment to make. Fortunately, today, it is possible to improve the productivity of the field with affordable technology. In this work, the development of electronic devices to measure the temperature inside a 1000 m² greenhouse is described. These sensors have the capability to form a network, with which the temperature of various points within the greenhouse was obtained. The information collected was concentrated on the internet and through an interpolation algorithm, those areas with the highest temperature were determined. This allowed punctual and localized irrigation therefore making water use efficient. These research notes are the first part of a project to develop affordable electronic devices capable of measuring climatic variables such as temperature, relative humidity, and light, among others. With the data obtained, the evapotranspiration coefficient can be calculated to estimate the amount of water needed in each crop area.

Index words: affordable cost, information, optimization, accuracy.



check for
updates

Cita recomendada:

Aguilar-González, R., Cárdenas-Juárez, M., Rodríguez-Ortiz, J. C., & Romero-Méndez, M. J. (2023). Monitoreo de Temperatura Mediante Red de Sensores para Mejorar el Uso del Agua en la Agricultura. *Terra Latinoamericana*, 41, 1-11. e1626. <https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1626>

Recibido: 31 de julio de 2022.

Aceptado: 4 de junio de 2023.

Nota de Investigación. Volumen 41. Septiembre de 2023.

Editor de Sección:

Dr. Pablo Preciado Rangel

Editor Técnico:

Dr. Marco Antonio Camacho Escobar



Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC ND) License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

INTRODUCCIÓN

Una de las principales problemáticas a nivel mundial para los años siguientes, será la alimentación (FAO, FIDA, OMS, PMA y UNICEF, 2020). Esto debido al aumento en la población, la disminución de recursos naturales y los efectos del cambio climático. Por lo tanto, es posible que actividades fundamentales, como la agricultura, sean difíciles de llevar a cabo. Es importante mencionar que los recursos naturales, son cada día más escasos y limitados. Por ejemplo, el agua, la cual es de alta importancia en la producción de alimentos. Actualmente se estima que 76% del agua dulce se destina a la agricultura (CONAGUA, 2019). Entonces, continuar con las técnicas de agricultura actuales, complicará la disponibilidad de alimentos. El problema puede volverse aún peor, debido a que el agua ya tiene un costo económico para productores de algunos países del mundo (Zamani *et al.*, 2021). En México, los productores de la Comarca Lagunera pagan por el agua \$1.56 pesos por m³ para bombeo, mientras que la tarifa para gravedad es \$0.91 pesos por m³ (Ramírez-Barraza, González, Valdivia, Salas y García, 2019).

Una de las posibles soluciones es considerar la agricultura de precisión (AP) en la producción de alimentos (Santillán y Rentería, 2018; ISPA, 2021). Este concepto considera entre varias vertientes, el uso de sensores para medir diversas condiciones en los cultivos y emitir información que ayude al agricultor a conocer el estado actual de su parcela. De esta forma, es posible cubrir solamente las necesidades específicas de cada planta en el lugar preciso y evitar el uso excesivo de recursos. Existen algunas soluciones de AP en el mercado tales como el uso de drones e imágenes satelitales. Sin embargo, el costo económico de dichas tecnologías aún es elevado para gran parte de los agricultores mexicanos. Por lo tanto, es común que dichos avances no se puedan apreciar en la mayoría de los campos agrícolas (Negrete, 2017).

La implementación de redes de sensores en la AP es uno de los temas de gran interés en la literatura debido a sus beneficios (Kumar y Ilango, 2017; Rambauth, 2022). En este sentido, aparece el modelo de una red de sensores que demuestra teóricamente, los resultados en la optimización de recursos que se pueden tener con esta tecnología (García-Lopez, Chavez y Jurado, 2017). También, existe un trabajo que ha considerado diversos prototipos conectados en red para conocer la humedad del suelo y obtener el momento en que se debe regar (Lloret, Sendra, García, y Jiménez, 2021). Además, ha sido presentado un paquete tecnológico para invernaderos basado en software y hardware libre (Lugo-Espinosa, Villavicencio y Díaz, 2014). Buscando mejorar el aprovechamiento del agua, es posible encontrar trabajos que han demostrado que mediante diversas tecnologías se puede hacer uso eficiente del vital líquido (Chávez, Fuentes y Ventura, 2010; Zermeño-González *et al.*, 2014).

El propósito de este trabajo es demostrar los beneficios de incorporar tecnologías electrónicas en invernaderos sin realizar una inversión económica elevada. Las contribuciones y objetivos que tendrá este proyecto una vez culminado, son las siguientes:

Desarrollar dispositivos electrónicos de costo accesible que puedan medir variables climatológicas dentro de una parcela, conectarse en red y tener capacidad de colocar la información en internet sin importar la ubicación del predio.

Analizar los datos obtenidos de la parcela, para generar la localización de aquellos puntos que necesitan mayor atención, y establecer mediante el cálculo del índice de evapotranspiración las necesidades hídricas del cultivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

A continuación, se menciona el lugar donde fueron realizadas las mediciones de temperatura de cinco puntos dentro de un invernadero. También, se describen los dispositivos electrónicos que se desarrollaron, sus capacidades y la plataforma para visualizar datos. Por último, se presenta el algoritmo considerado para el procesamiento de las mediciones y el método de interpolación seleccionado para aproximar la temperatura en aquellos lugares que no incluyen un dispositivo.

Ubicación del Invernadero

Las mediciones de temperatura presentadas en este primer avance, se llevaron a cabo en un invernadero de aproximadamente 1000 m² de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la UASLP. La localización geográfica de este lugar fue: 22° 13' 50.493" N, 100° 51' 37.288" O. Las mediciones de temperatura fueron realizadas el día 8 de abril del 2022. Este invernadero era cerrado y cuenta con ventilación en la parte superior, una vista satelital del mismo puede verse en la Figura 1. En dicho lugar, se encontraban plántulas de tomate saladette a una semana de haber sido trasplantadas. Este invernadero contaba con sistema de riego por goteo.

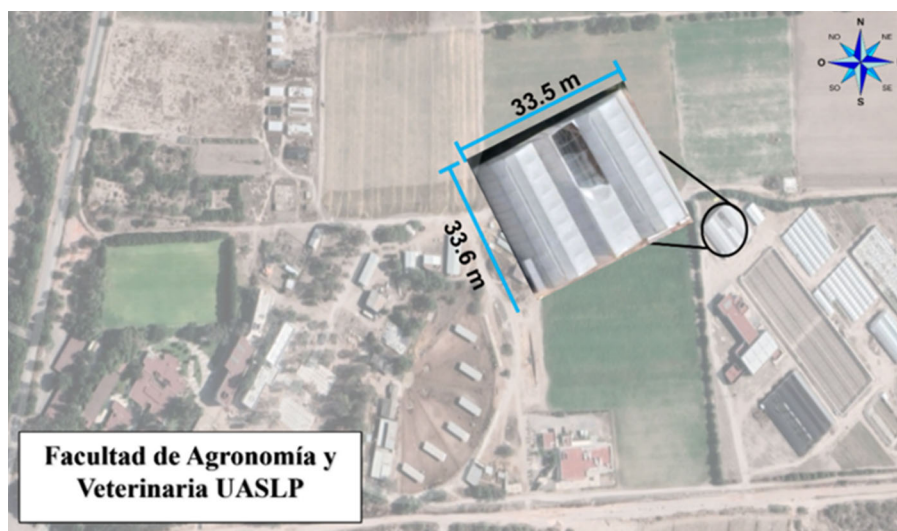


Figura 1. Imagen satelital del invernadero. (Autoría propia).
Figure 1. Satellite image of the greenhouse. (Own authorship).

Dispositivos Electrónicos de Costo Accesible

En la actualidad, la plataforma Arduino ofrece tarjetas electrónicas en distintas versiones (Arduino, 2022). En este trabajo, se consideró el modelo Arduino nano, debido a su costo económico y tamaño, este circuito era básicamente un microcontrolador. Dos tipos de dispositivos para establecer la red de sensores fueron propuestos aquí. Los nodos desplegados en el cultivo, también llamados unidades remotas (UR) y las unidades centrales (UC) que tenían comunicación con los nodos y a la vez enviaban los datos a una plataforma en internet.

La principal diferencia entre los dispositivos consistió en que las UC incluían una tarjeta de telefonía móvil para conectarse a internet. La comunicación entre UC y las UR se realizó mediante el transceptor NRF24L01, el cual, en la práctica, tenía un alcance de 100 m para conectarse con otro dispositivo similar. Todos los módulos incluyeron un panel solar de 6 V, un cargador de baterías y una batería recargable de 3.7 V. Asimismo, en estas primeras pruebas, todas las unidades tenían el sensor de temperatura y humedad relativa AMT2301. La información sobre los componentes de cada tipo de dispositivo se encuentra en el Cuadro 1. El costo de los materiales para la construcción de estos dispositivos fue de alrededor de \$700 pesos para las UR y de \$1500 para las UC. Adicionalmente, la UC necesitaba un chip de telefonía celular y mantener tiempo aire para enviar la información. Cualquier compañía de telefonía podía proveer de este servicio.

Cuadro 1. Componentes de los dispositivos Unidad Central y Unidad Remota.
Table 1. Components of the Central Unit and Remote Unit devices.

Componente	Unidad Central (UC)	Unidad Remota (UR)
Controlador	Arduino nano	Arduino nano
Energía	1.-Panel solar 6 v	1.-Panel solar 6 v
	1.-Batería recargable de 3.7 v	1.-Batería recargable de 3.7 v
	1.-Cargador de batería	1.-Cargador de batería
	1.-Elevador de voltaje a 5 v	1.-Elevador de voltaje a 5 v
Sensores	1.-Sensor AMT2301 - Temperatura y humedad relativa	1.-Sensor AMT2301 - Temperatura y humedad relativa
	1.-Sensor BH1750 - Luminosidad	
Comunicación	1.-Transceptor - NRF24L01	1.-Transceptor - NRF24L01
	1.-Módulo de telefonía- GSM/GPRS Sim900	

La Figura 2 muestra los componentes físicos de las UR y la UC. En ella se aprecian las conexiones requeridas para fabricar cada uno de los dispositivos. Los componentes que fueron necesarios para una UR se encuentran dentro de una línea azul punteada. Mientras que para fabricar una UC fueron necesarios todos los elementos de la línea negra punteada. La gran parte de los componentes eran populares y podían ser encontrados en casi cualquier tienda de electrónica.

La Figura 3a presenta a la UC, esta unidad incluía una caja de protección a prueba de agua para todos los componentes electrónicos, en la parte de arriba fue colocado el sensor de luminosidad BTH1750. El cual, tiene como base la carcasa experimental que protegía al sensor de temperatura y humedad relativa AMT2301. Además, también se consideró un panel solar, batería y cargador para prolongar el funcionamiento del dispositivo. La UC concentraba la información de las demás unidades a su alrededor al usar un transceptor NRF24L01 y mediante un módulo de telefonía móvil se conectaba a la plataforma para internet de las cosas Thingspeak para almacenar los datos del cultivo (ThingSpeak, 2022). Las mediciones se realizaron cada 15 minutos, pero pueden configurarse acorde a la necesidad del usuario. Por otro lado, en la Figura 3b aparece una UR. Este dispositivo solamente tenía un sensor de temperatura y humedad relativa AMT2301, un panel solar, una batería, un cargador para baterías y un transceptor NRF24L01. Mediante el transceptor, la UR se comunicaba con la UC. Las UR fueron configuradas de esa forma para las primeras pruebas; en un futuro se espera que tengan las mismas capacidades que las UC.

Instalación de Dispositivos

Dentro del invernadero antes señalado, se colocaron cinco dispositivos, en específico cuatro son UR (esquinas) y uno es UC (centro), tal como se observa en la Figura 4. En esta figura, se tenía a las UR para medir en diferentes puntos dentro del invernadero. Toda la información que se obtuvo fue concentrada en la UC, esta a su vez, envió los datos a Thingspeak. En esta plataforma, se procesaron los datos que después fueron entregados al usuario. Donde en caso de ser necesario, se realizó alguna acción. Las UR fueron colocadas a una altura de 15 cm sobre el suelo, mientras que la UC a 40 centímetros.

Los dispositivos fueron distribuidos de manera uniforme dentro del invernadero, considerando la técnica de muestro de suelo llamada Diagonal Cruzada (Ministerio del Ambiente, 2014). Mediante esta metodología, fue posible aproximar el tipo de suelo de una parcela y realizar acciones en beneficio del cultivo. Tomando como base lo anterior, se realizó el mismo procedimiento, pero ahora con mediciones de temperatura. Esto se llevó a cabo con el objetivo de tomar una práctica habitual realizada en la agricultura y tener un referente sobre puntos representativos en un cultivo.

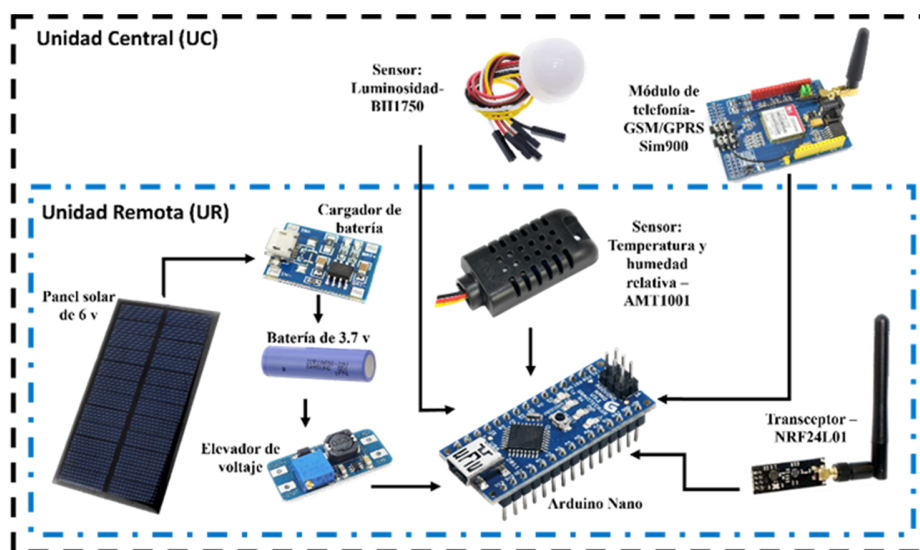


Figura 2. Diagrama de conexiones de los componentes de los dispositivos.
Figure 2. Connection diagram of the device components.

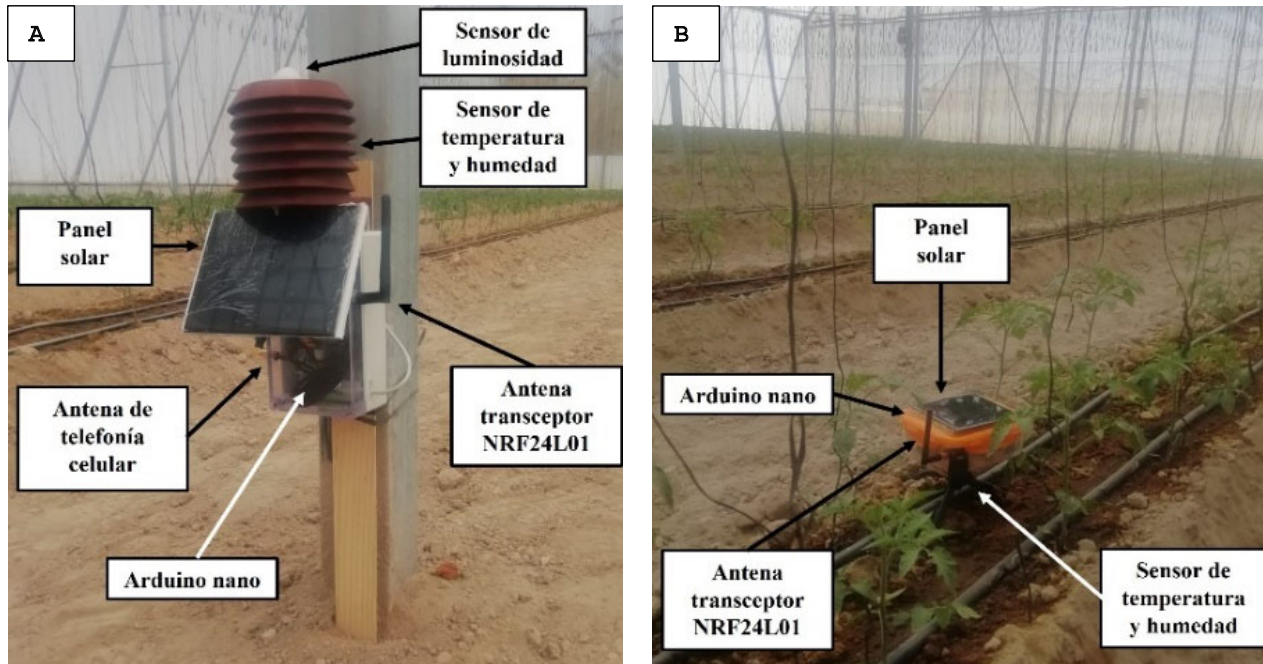


Figura 3. Principales componentes de las unidades de medición. (a) Unidad Central; (b) Unidad Remota.
 Figure 3. Main components of the measurement units. (a) Central Unit; (b) Remote Unit.

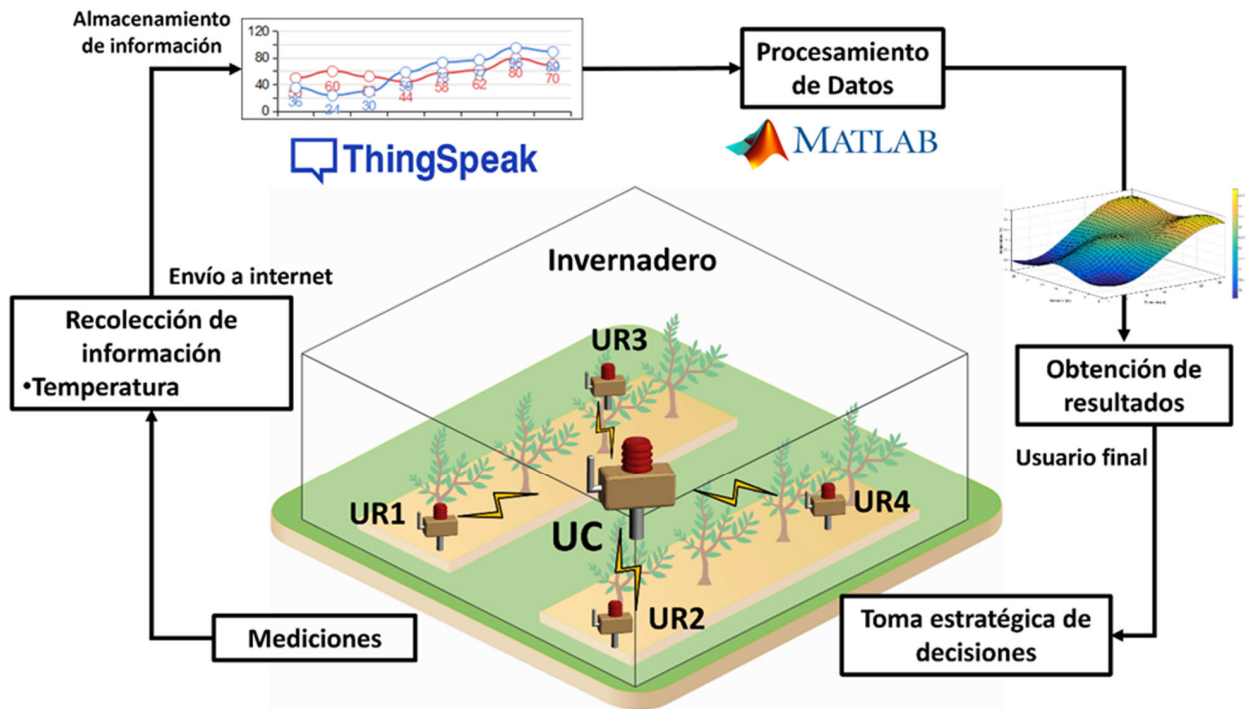


Figura 4. Diagrama esquemático de colocación de UR y UC en el invernadero.
 Figure 4. Schematic diagram of placement of UR and UC in the greenhouse.

Mapa Espacial de Temperatura Mediante Interpolación

Al obtener las mediciones de cada sensor, fue posible observar la temperatura en algunos puntos. Una mayor densidad de sensores podía dar una aproximación exacta sobre la temperatura, pero el costo económico de la implementación y el procesamiento de la información iba a crecer enormemente. Entonces, para reducir el número de dispositivos en una parcela y obtener un mapa espacial era necesario realizar una interpolación. Entre los métodos que existían, se encontraba la técnica de distancia inversa ponderada (IDW, por sus siglas en inglés de Inverse Distance Weighting) (Zhang, He, Li, Wang y Wang, 2017). Considerando este algoritmo se pudo completar la temperatura en un área determinada y obtener un mapa espacial. Este método, asignó pesos mayores a los puntos cercanos a donde se realizó la medición y pesos menores a los puntos lejanos. Así también, IDW ayudó a estimar la temperatura sobre puntos que no habían sido muestreados. Una de las opciones que definieron matemáticamente al método IDW aparece en la Ecuación 1:

$$Z_p = \sum_{i=1}^n W_i Z_i \quad (1)$$

Donde Z_i correspondió a un punto con coordenadas (X_i, Y_i) , en el caso de este estudio es una UR o UC. Mientras, que la variable n se refirió al número de dispositivos colocados en la parcela. Esta información se utilizó para aproximar la temperatura un algún punto Z_p localizado dentro del cultivo. La variable W_i correspondió al cálculo de los pesos y se describe en la Ecuación 2:

$$W_i = \frac{d_i^{-u}}{\sum_{j=1}^n d_j^{-u}} \quad (2)$$

El valor W_i , estuvo conformado por d_i , que es la distancia entre el punto Z_i y el punto Z_p . Todo esto dividido entre la suma de d_j , que corresponde a la distancia entre el punto Z_p con respecto a cada uno de los j puntos que fueron medidos. Las variables d_i y d_j , en esta investigación están elevadas a la potencia u , la cual tiene un valor de 1.

Procesamiento de la Información

A continuación, se describe como el procesamiento de medición de temperatura. En el Cuadro 2, se presentan los pasos que se ejecutan para procesar los datos obtenidos.

El primer paso fue realizar la colocación y encender las cuatro UR y la UC. Después, esperar 10 minutos para que los dispositivos se estabilizaran en el invernadero y evitar mediciones erróneas. Al terminar este tiempo, todos los dispositivos debieron realizar una medición de temperatura y enviarla a la UC. La UC concentró la información y la organizó en un el vector Temperatura Total T_{th} con la variable $h = 1 \dots \infty$, indicó que va desde la primera medición hasta que se decida detener el proceso. Toda la información fue enviada mediante telefonía celular a la plataforma Thingspeak. En esta parte, se asignó un tiempo máximo de 5 minutos para establecer la conexión y almacenar los datos en internet, esto debido a las condiciones cambiantes de la red. Después de este tiempo, fue posible apreciar los datos en Thingspeak y hacer uso de ellos con el algoritmo de interpolación IDW para generar el mapa de temperatura. Finalmente, en esta etapa fue donde el usuario pudo apreciar los datos recopilados por la red de sensores y tomar una decisión.

Las mediciones de temperatura y la recopilación de estas fueron realizadas de forma continua en intervalos de aproximadamente 15 minutos. Este tiempo fue establecido solamente para revisar la correcta conexión, los intervalos de medición pueden ser modificados y ajustados a cierto entorno. Sin embargo, es necesario mencionar que, en las condiciones climatológicas no existe un cambio drástico en periodos muy cortos, por lo cual es recomendable ir hacia periodos más largos. Los intervalos de medición largos prolongan la batería de los dispositivos. El mejor ajuste de los intervalos de medición se puede determinar con efectividad después de procesar una gran cantidad de información y adaptar los tiempos a cada entorno.

La plataforma Thingspeak fue seleccionada, debido a la versatilidad y las modalidades gratuitas que incluye. En su versión de prueba, se pueden almacenar hasta en ocho variables distintas, debido a ello solamente la temperatura fue considerada en este primer avance. Los datos pueden ser procesados en línea o descargados en archivos .csv para su estudio posterior. Finalmente, toda la información es recibida por el dueño del invernadero o el usuario final para que tome otra decisión. Otra de las ventajas de Thingspeak, consiste en la posibilidad de configurar alertas en caso de que alguna variable salga del rango estimado o se presente un comportamiento fuera del esperado, el usuario podrá recibir esta información inmediatamente.

Cuadro 2. Descripción del procesamiento de los datos.
Table 2. Description of data processing.

Procesamiento de los Datos
Inicio
1.- Colocación y encendido de UR_1 , UR_2 , UR_3 , UR_4 y UC en invernadero.
2.- Esperar durante de 10 minutos para estabilizar mediciones.
3.- Todos los dispositivos medir temperatura TUR_1 , TUR_2 , TUR_3 , TUR_4 , TUC
4.- UC concentra toda la información Temperatura total $T_{Th} = [TUR_1, TUR_2, TUR_3, TUR_4, TUC]$ con $h = 1 \dots \infty$
5.- UC envía por medio de telefonía móvil T_{Th} a Thingspeak.
6.- Thingspeak recibe y almacena la información.
7.- Después de 15 minutos de hacer una medición y envío, regresar al paso 2.
8.- Realizar interpolación IDW usando T_{Th} para los Z_p puntos de la parcela $Z_p = \sum_{i=1}^n W_i Z_i$
9.- Creación de mapa de temperaturas en parcela.
9.- Entregar información al usuario final.
Fin

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los datos que se presentan a continuación corresponden a la medición del 8 abril del 2022, obtenidos en el invernadero antes señalado. Toda esa información fue almacenada en la plataforma Thingspeak y procesada posteriormente utilizando el software Matlab (The Mathworks, 2023).

En la Figura 5 se muestran las temperaturas provenientes de cinco puntos muestreados al inicio y al final del día. En esta figura, es posible observar que en la mayor parte del invernadero permanece constante la temperatura, con apenas un par de grados de diferencia entre algunos puntos. Sin embargo, cerca del mediodía es cuando se presenta una diferencia importante en las temperaturas. Los dispositivos UR_3 y UR_4 alrededor de las 12:00 h comienzan a tener mayor temperatura. Esto se debe al efecto de la radiación solar en una de las paredes del invernadero. El dispositivo UC también tiene un incremento en sus lecturas debido a la cercanía con los sensores mencionados. Mientras que los dispositivos UR_1 y UR_2 alcanzan una temperatura máxima de alrededor de 32 °C, la cual es inferior a las mediciones realizadas por el resto de ellos dispositivos.

Por lo tanto, con estos resultados se demuestra que zona del invernadero requiere mayor atención y especial cuidado para mantener con una buena hidratación las plantas.

Las figuras que se muestran a continuación corresponden a diferentes instantes de tiempo durante el día que fueron interpoladas con el método IDW. El color amarillo representar temperaturas mayores, mientras que el color azul es para temperaturas más bajas. Los mapas de temperatura mostrados aquí cubren el área del invernadero y pueden verse en dos planos para ubicar con facilidad los cambios.

En la Figura 6a, se observa una mínima variación de la temperatura en el invernadero a las 6:45 h. En general se puede apreciar que la temperatura en la mayor parte de la superficie podría considerarse la misma, esto debido a que el sol comienza a hacer su aparición. Sin embargo, es posible observar como uno de los lados del invernadero tiene una ligera tendencia a tener una mayor temperatura. Lo anterior es reafirmado con la Figura 6b.

En la Figura 7a y b, una de las paredes laterales del invernadero mantiene entre 4 y 5 °C grados por encima de la otra parte. Estos datos tienen una alta relación con la carga solar que recibe el invernadero a la hora de las mediciones. Es decir, esa pared del invernadero recibe sol directamente, mientras que la otra no. Entonces, los datos indican que no todo el invernadero debe ser regado de la misma forma, las plantas cercanas a la pared con mayor temperatura posiblemente requieran una mayor cantidad de agua, a diferencia de la otra parte del invernadero que podría no necesitarla. Por lo tanto, es casi un hecho que al realizar estas acciones se optimizará el consumo de agua en la agricultura bajo invernadero.

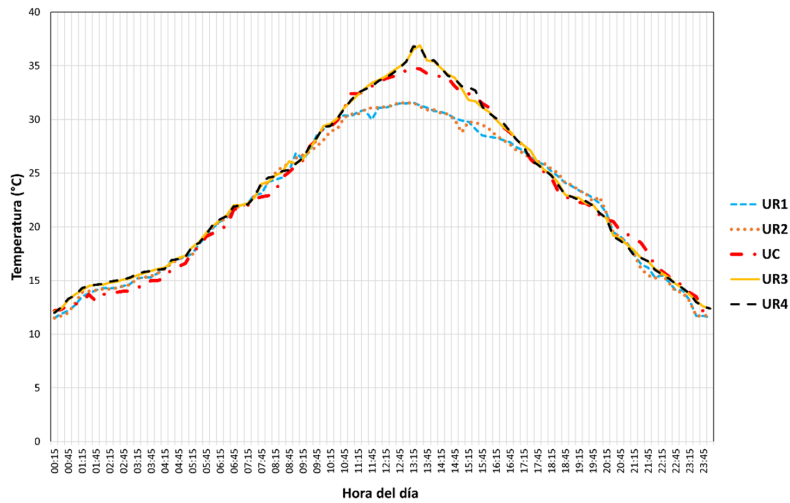


Figura 5. Datos obtenidos de las mediciones realizadas en un día completo dentro del invernadero.
Figure 5. Data obtained from measurements made on a full day inside the greenhouse.

Un cambio interesante que se puede apreciar al paso de las horas es que la temperatura se concentra en el centro del invernadero, tal como se puede ver en la Figura 8a y b. En este caso, una vez que el sol se empieza a ocultar, deja de producir mayor calor en una de las paredes del invernadero. Con lo cual, no existe gran variación de temperatura entre los laterales, pero si con respecto al centro.

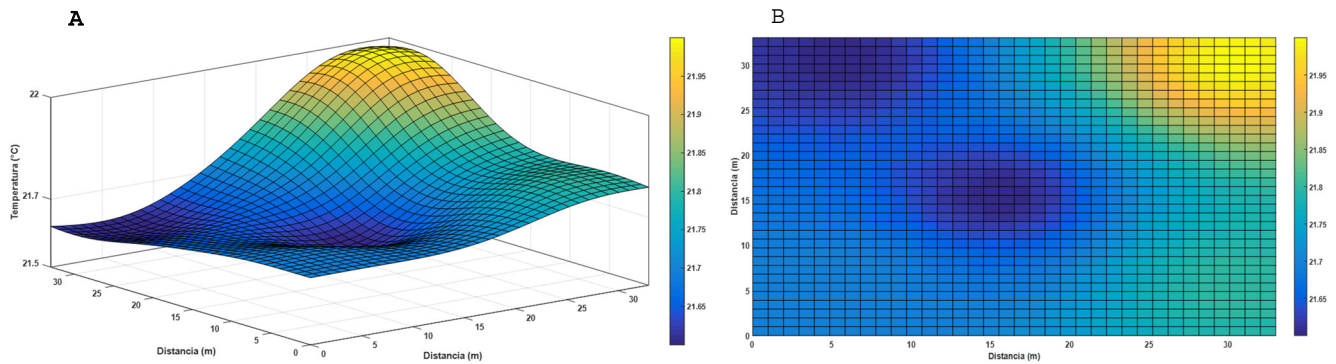


Figura 6. Mapa de temperaturas - 6:45 h. a) Mapa en superficie b) Mapa en plano.
Figure 6. Temperature map - 6:45 h. a) Surface map b) Plain map.

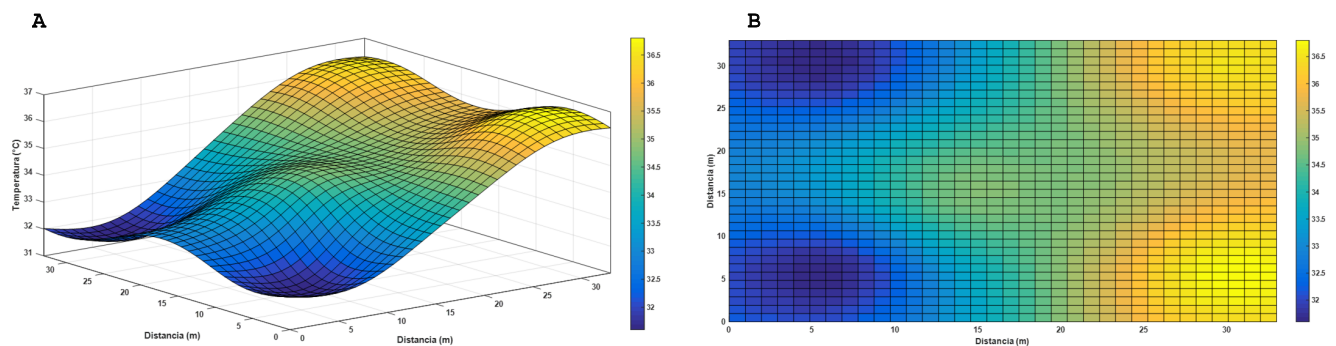


Figura 7. Mapa de temperaturas - 13:30 h. a) Mapa en superficie b) Mapa en plano.
Figure 7. Temperature map - 13:30 h a) Surface map b) Plain map.

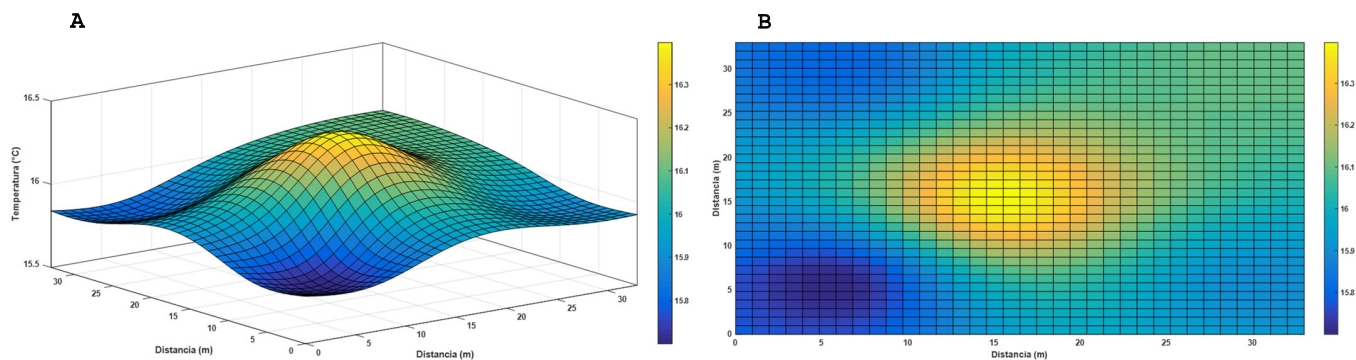


Figura 8. Mapa de temperaturas - 22:00 h. a) Mapa en superficie b) Mapa en plano.
Figure 8. Temperature map - 22:20 h. a) Surface map b) Plain map.

Las figuras mostradas anteriormente, brindan una visión sobre las variaciones existentes en invernadero y como pueden ser monitoreadas con diferentes puntos. También, las ventajas de considerar una interpolación para apreciar el comportamiento general en área determinada. Una de las partes siguientes en esta investigación es monitorear variables tales como la humedad relativa, la luminosidad entre otras, para calcular el índice de evapotranspiración. Así también, incluir otras técnicas de interpolación como el método de Kriging para aumentar la estimación de las variables climatológicas en puntos donde no hay un sensor (Zhang *et al.*, 2017).

Las mediciones de temperatura obtenidas aquí son comparables con otros trabajos publicados en la literatura. Por ejemplo, algunas aportaciones muestran temperaturas que oscilan de entre 3 y 7 °C a lo largo de un día (Kochhar y Kumar, 2019; Puspitasari y Perdana, 2018). Lo cual indica la veracidad de los datos obtenidos y mostrados anteriormente. Estos resultados dependen del entorno, colocación de sensores y tipo de sensor. En cuestión de dispositivos electrónicos, un número considerable de contribuciones hace uso de Arduino (Theopoulos, Boursianis, Koukounaras y Samaras, 2018; Azhari, Nasution, Sinaga y Sudiati, 2023). La diferencia, es que en este trabajo se mencionan a detalles los materiales utilizados y la interacción entre ellos. Lo cual, permite que las personas interesadas puedan desarrollar sus propios dispositivos y seguir la metodología presentada. Finalmente, es importante mencionar que la cantidad de contribuciones que considera métodos de interpolación en mediciones de temperatura en invernaderos es limitada. Algunas de las existentes llevan a cabo mediciones en áreas reducidas o mediante la realización de toma de muestras con robots móviles (Iida, Kumamoto, Nakamura, y Ueda, 2020; Kuo, Huang y Putra, 2021).

CONCLUSIONES

En este trabajo se ha demostrado que es posible monitorear la temperatura de un cultivo en invernadero mediante dispositivos electrónicos sin invertir grandes cantidades de dinero. El equipo utilizado en este trabajo tiene un costo estimado de fabricación de \$4300. Entre los resultados de este trabajo, se destaca el conocer la distribución de la temperatura de un cultivo a lo largo de un día y las zonas del invernadero en las que se debe prestar mayor atención. Las mediciones de temperatura mostraron que, al inicio del día, el invernadero presenta condiciones uniformes. Mientras que al medio día, una de las paredes de este, tiene una elevación de temperatura de entre 4 y 5 °C con respecto del resto. Al final del día, las paredes del invernadero mantienen temperaturas similares, con una ligera elevación en el centro de este.

En el trabajo a futuro, se planea realizar una comparación entre considerar y no considerar este tipo de tecnologías. Además, se medirán otras variables climatológicas adicionales para calcular el índice de evapotranspiración buscando optimizar el consumo de agua. Todo esto en el marco de mantener una buena relación costo-beneficio. Finalmente, pretende considerar una carcasa robusta adecuada para utilizar los dispositivos electrónicos en condiciones a cielo abierto.

DECLARACIÓN DE ÉTICA

No aplicable.

CONSENTIMIENTO PARA PUBLICACIÓN

No aplicable.

DISPONIBILIDAD DE DATOS

Los conjuntos de datos utilizados o analizados durante el estudio actual están disponibles del autor correspondiente a solicitud razonable.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

FINANCIACIÓN

No aplicable.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Conceptualización, metodología: R.A.G. y M.C.J.; Validación: J.C.R.O. y M.J.R.M.; Análisis formal: M.C.J. y J.C.R.O. Escritura: preparación del borrador original, revisión y edición: R.A.G., M.C.J., J.C.R.O. y M.J.R.M.

AGRADECIMIENTOS

El primer autor de este trabajo agradece a CONACYT por la beca postdoctoral otorgada para realización de este proyecto. CVU: 330082.

LITERATURA CITADA

- Arduino (2022). *Descripción de Hardware*. Consultada el 15 de septiembre, 2023, desde <https://www.arduino.cc/en/hardware>
- Azhari, Nasution, T. I., Sinaga, S. H., & Sudiati (2023). Design of monitoring system temperature and humidity using DHT22 sensor and NRF24L01 based on Arduino. *Journal of Physics: Conference Series*, 2421(1), 012018. <http://doi.org/10.1088/1742-6596/2421/1/012018>
- Chávez, C., Fuentes, C., & Ventura-Ramos, E. (2010). Uso eficiente del agua de riego por gravedad utilizando yeso y poliácridamida. *Terra Latinoamericana*, 28(3), 1-8.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) (2019). *Estadísticas del agua en México*. Consultado el 15 de septiembre, 2023, desde https://files.conagua.gob.mx/conagua/publicaciones/Publicaciones/EAM_2019.pdf
- FAO., FIDA., OMS., PMA., & UNICEF (2020). *El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2020. Transformación de los sistemas alimentarios para que promuevan dietas asequibles y saludables*. Roma, Italia: FAO-FIDA-OMS-PMA-UNICEF. <http://doi.org/10.4060/cc0639es>
- García-López, J. E., Chávez-Chavez, J., & Jurado-Sánchez, A. (2017). Modelado de una red de sensores y actuadores inalámbrica para aplicaciones en agricultura de precisión. In *2017 IEEE Mexican Humanitarian Technology Conference (MHTC)* (pp. 109-116). Puebla, México: IEEE. <https://doi.org/10.1109/MHTC.2017.7926210>
- Iida, K., Kumamoto, H., Nakamura, S., & Ueda, E. (2020). Mobile robot for environmental measurement in Greenhouse. *Journal of the Institute of Industrial Applications Engineers*, 8(1), 33-38. <https://doi.org/10.12792/jiiae.8.33>
- ISPA (International Society of Precision Agriculture). (2021). Definición de Agricultura de Precisión. Consultado el 15 de septiembre, 2023, desde <https://www.ispag.org/about/definicion#:~:text=%E2%80%9CPrecision%20Agriculture%20is%20a%20management,%2C%20productivity%2C%20quality%2C%20profitability%20and>
- Kumar, S. A., & Ilango, P. (2017). The Impact of Wireless Sensor Network in the Field of Precision Agriculture: A Review. *Wireless Personal Communications*, 98(1), 685-698. <https://doi.org/10.1007/s11277-017-4890-z>
- Kuo, P. F., Huang, T. E., & Putra, I. G. B. (2021). Comparing kriging estimators using weather station data and local greenhouse sensors. *Sensors*, 21(5), 1853. <https://doi.org/10.3390/s21051853>
- Kochhar, A., & Kumar, N. (2019). Wireless sensor networks for greenhouses: An end-to-end review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 163, 104877. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.104877>
- Lloret, J., Sendra, S., García, L., & Jimenez, J. M. (2021). A wireless sensor network deployment for soil moisture monitoring in precision agriculture. *Sensors*, 21(21), 1-24, <https://doi.org/10.3390/s21217243>

- Lugo-Espinosa, O., Villavicencio-Pérez, G. A., & Díaz-Luna, S. A. (2014). Paquete tecnológico para el monitoreo ambiental en invernaderos con el uso de hardware y software libre. *Terra Latinoamericana*, 32(1), 77-84.
- Ministerio del Ambiente (2014). *Guía para el muestreo de suelos*. En el marco del decreto supremo No 002-2013-MINAM, Estándares de calidad ambiental (ECA) para suelo. Lima, Perú: Ministerio del Ambiente
- Negrete, J. C. (2017). Precision agriculture in Mexico; Current Status and Perspectives. *International Journal of Horticulture*, 7(10), 75-81. <http://doi.org/10.5376/ijh.2017.07.0010>
- Puspitasari, W., & Perdana, R. H. Y. (2018). Real-time monitoring and automated control of greenhouse using wireless sensor network: Design and implementation. In *2018 International Seminar on Research of Information Technology and Intelligent Systems (ISRITI)* (pp. 362-366). Yogyakarta, Indonesia: IRSI. <https://doi.org/10.1109/isriti.2018.8864377>
- Rambauth-Ibarra, G. E. (2022). Agricultura de Precisión: La integración de las TIC en la producción Agrícola. *Computer and Electronic Sciences: Theory and Applications*, 3(1), 34-38. <https://doi.org/10.17981/cesta.03.01.2022.04>
- Ramírez-Barraza, B. A., González-Estrada, A., Valdivia-Alcalá, R., Salas-González, J. M., & García-Salazar, J. A. (2019). Tarifas Eficientes para el Agua de Uso Agrícola en la Comarca Lagunera. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(3), 539-550. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i3.1295>
- Santillán, O., & Rentería-Rodríguez, M. (2018). *Agricultura de precisión*. Ciudad de México, México: Oficina de Información Científica y Tecnológica para el Congreso de la Unión (INCYTU).
- Theopoulos, A., Boursianis, A., Koukounaras, A., & Samaras, T. (2018). Prototype Wireless Sensor Network for real-time measurements in hydroponics cultivation. In *2018 7th International Conference on Modern Circuits and Systems Technologies (MOCASST)* (pp. 1-4). Thessaloniki, Greece: IEEE. <https://doi.org/10.1109/mocast.2018.8376576>
- The Mathworks. (2023). *MATLAB User's Guide. Version R2022a*. Natick, MA, USA: The Mathworks Inc.
- ThingSpeak (2023). *Internet of Things. Environmental Monitoring*. Consultada el 15 de septiembre, 2023, desde https://thingspeak.com/pages/environmental_monitoring
- Zamani, O., Azadi, H., Mortazavi, S. A., Balali, H., Moghaddam, S. M., & Jurik, L. (2021). The impact of water-pricing policies on water productivity: Evidence of agriculture sector in Iran. *Agricultural Water Management*, 245, 106548. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106548>
- Zermeño-González, A., Cruz-Santes, C., Munguía-López, J., Catalán-Valencia, E., Campos-Magaña, S., & Cortés-Bracho, J. (2014). Efecto del sistema de riego y clima en la eficiencia del uso del agua de nogal pecanero. *Terra Latinoamericana*, 32(1), 1-11.
- Zhang, L., He, C., Li, J., Wang, Y., & Wang, Z. (2017). Comparison of idw and physically based idew method in hydrological modelling for a large mountainous watershed, northwest China. *River Research and Applications*, 33(6), 912-924. <http://doi.org/10.1002/rra.3147>