

Artículo de Investigación

Monitoreo térmico ambiental inalámbrico en cultivos

Wireless environmental thermal monitoring in crops

Luis Freire-Sánchez*^{ID}, Magali Coello-Gavilanes^{ID}

Departamento de Investigaciones, Instituto Superior Universitario San Gabriel, Riobamba, Ecuador, 060111

maggys8081@hotmail.com

*Correspondencia: luis_freire@sangabrielriobamba.edu.ec

Citación: Freire-Sánchez, L., & Coello-Gavilanes, M., (2022). Monitoreo térmico ambiental inalámbrico en cultivos. *NovasinerGía*, 5(2), 76-89. <https://doi.org/10.37135/ns.01.10.05>

Recibido: 03 mayo 2022

Aceptado: 15 junio 2022

Publicación: 05 julio 2022

NovasinerGía
ISSN: 2631-2654

Resumen: Se desarrolló un sistema de monitoreo meteorológico con el objetivo de alertar la presencia de temperaturas extremas que puedan ocasionar daños en cultivos por estrés térmico. El diseño y construcción está compuesto de dos módulos: el primero se instala en el cultivo y contiene una sonda DS18B20 que captura muestras de temperatura instantánea en un radio de 100 metros con una resolución de $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ y periodicidad de 20 segundos, también incorpora un algoritmo estadístico para validar cada medición antes de transmitirlo inalámbricamente al segundo módulo instalado en la vivienda del agricultor, el cual incorpora un menú de opciones en una pantalla táctil de 3.2 pulgadas que permite configurar límites térmicos de acuerdo al tipo de cultivo, entonces el sistema evalúa los datos y activa una alarma sonora al detectar la aproximación de una temperatura de estrés. Los resultados muestran una comunicación confiable en un radio de 19 km, con capacidad para respaldar datos históricos por 200 años convirtiéndolo en una fuente de información para futuros estudios. El prototipo demostró un alto grado de confiabilidad y utilidad por parte de los agricultores de la provincia de Chimborazo en Ecuador.

Palabras clave: Daños térmicos en cultivos, estrés térmico en cultivos, monitoreo inalámbrico de cultivos, monitoreo térmico ambiental de cultivos.

Abstract: A meteorological monitoring system was developed to alert the presence of extreme temperatures that may cause damage to crops due to thermal stress. The design and construction is made up of two modules: the first is installed in the crop and contains a DS18B20 probe that captures instantaneous temperature samples within a radius of 100 meters with a resolution of $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ and periodicity of 20 seconds, it also incorporates a statistical algorithm to validate each measurement before transmitting it wirelessly to the second module installed in the farmer's home, which incorporates a menu of options on a 3.2-inch touch screen that allows setting thermal limits according to the type of crop, then the system evaluates the data and activates an audible alarm when it detects the approach of a stress temperature. The results show reliable communication within a radius of 19 km, with the capacity to support historical data for 200 years, making it a source of information for future studies. Furthermore, the prototype demonstrated a high degree of reliability and usefulness by farmers in the province of Chimborazo in Ecuador.



Copyright: 2022 derechos otorgados por los autores a NovasinerGía.

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de una licencia de Creative Commons Attribution (CC BY NC). (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Keywords: Crop thermal damage, crop thermal stress, wireless crop monitoring, environmental thermal crop monitoring.

1. Introducción

En los últimos años a nivel global se ha registrado un incremento del número de casos en los que factores abióticos han desmejorado la productividad de los cultivos (Steiner, 2020). El estrés por altas temperaturas origina respuestas que afectan su fenología, fisiología, metabolismo y en algunos casos se modifica la expresión genética que altere el rendimiento de las plantas (Martínez, Ibacache, & Rojas, 2017; Álvarez, 2011). Por ejemplo, pequeños incrementos de temperatura (de 30°C a 35 °C) pueden dañar los órganos reproductivos de cultivos tropicales como trigo (*Triticum aestivum* (L). Thell), maíz (*Zea mays* L.), arroz (*Oryza sativa* L.), maní (*Arachis hypogaea* L.) y tomate (*Solanum lycopersicum* L.) (Chaves & Gutiérrez, 2016). Mientras que el estrés por bajas temperaturas puede causar daños más severos (Lichtenthaler, 1996) que en lo posterior pudieran concluir con su muerte.

Es muy común que los agricultores no perciban a tiempo la llegada de las temperaturas extremas (Trillo, 2020) debido a que por ejemplo las mínimas de temperatura aparecen regularmente en horas de la madrugada (Martínez *et al.*, 2017; Hernandez, 2006). Este problema sucede con mayor frecuencia en zonas de clima tropical como Ecuador, donde las plantas tienen poca resistencia a las bajas temperaturas pudiendo sufrir daños graves entre 12 a 10 °C o incluso morir a temperaturas de 5 a 0 °C (Fischer, Carvajal, & Bazurto, 2007; Chaves & Gutiérrez, 2016).

Frente a esta problemática, los organismos estatales han invertido en capacitación y difusión de diferentes métodos de mitigación para minimizar estos efectos como el riego por aspersión y el uso de diferentes productos agroquímicos (Fuentes, 2015). No obstante, la poca confiabilidad de las predicciones meteorológicas ha hecho que el día y la hora de aplicar cada método aún siga dependiendo de la habilidad del mismo agricultor para percibir los cambios climáticos (Altieri & Nicholls, 2008). Esto conlleva a otros problemas, como la sobre utilización de productos agroquímicos que pudiera provocar un aumento en la contaminación del suelo y los productos de consumo humano (Moreira & Vera, 2016; Montoya, Restrepo, Moreno, & Mejía, 2014).

En base al analizadas realizado, se propone el desarrollo de un prototipo de monitoreo meteorológico para alertar la presencia de temperaturas extremas que puedan ocasionar daños en los cultivos, con el objetivo de otorgar a los agricultores una herramienta tecnológica de prevención que ayude a decidir la aplicación del método de mitigación con mayor eficiencia y de esta forma evitar la pérdida de las cosechas.

2. Metodología

En la figura 1 se muestra la arquitectura del Sistema para prevención de daños en cultivos (SPDC) el cual está compuesto de dos módulos: de lado izquierdo se encuentra el Sistema automatizado de observación en superficie (SAOS), el cual se encarga de tomar muestras de temperatura de aire instantánea (WMO, 2018) y encapsularla en una trama de datos para enviarla al segundo nodo denominado Sistema de supervisión remoto (SSR) encargado de recibir los datos, procesar la información, almacenarlos en una base de datos, y finalmente mostrar esta información a través de una interfaz gráfica implementada

mediante una pantalla táctil donde el usuario podrá configurar una alarma que alertará la aproximación de una mínima o máxima temperatura de stress de acuerdo al tipo de cultivo. Para la comunicación entre módulos se utilizaron tres módulos de transmisión inalámbrica debido a la facilidad de instalación que esta conlleva.

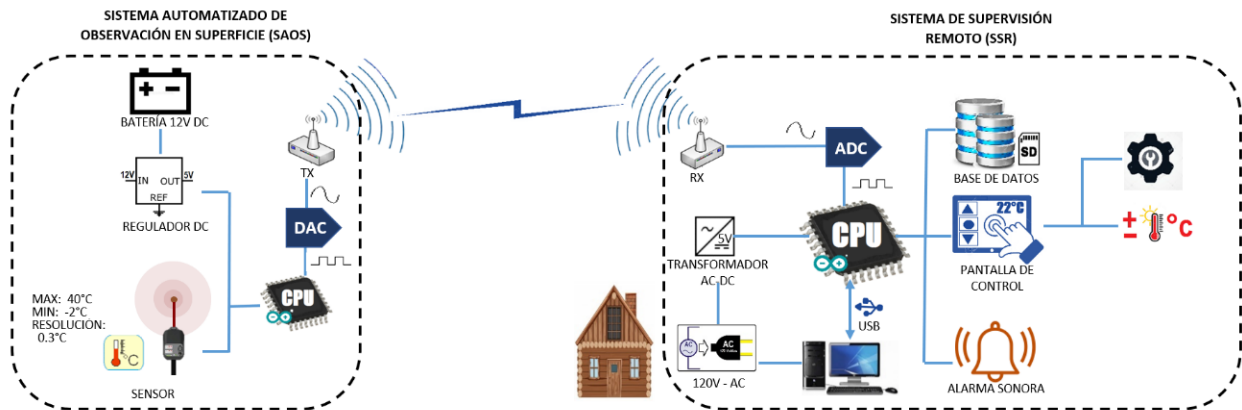


Figura 1: Arquitectura del sistema SPDC.

2.1. Diseño del módulo SAOS

Este módulo se encarga de capturar los datos del medio ambiente y enviarlos hacia el nodo de SSR. Como se muestra en la figura 2, su diseño está compuesto de cuatro submódulos.

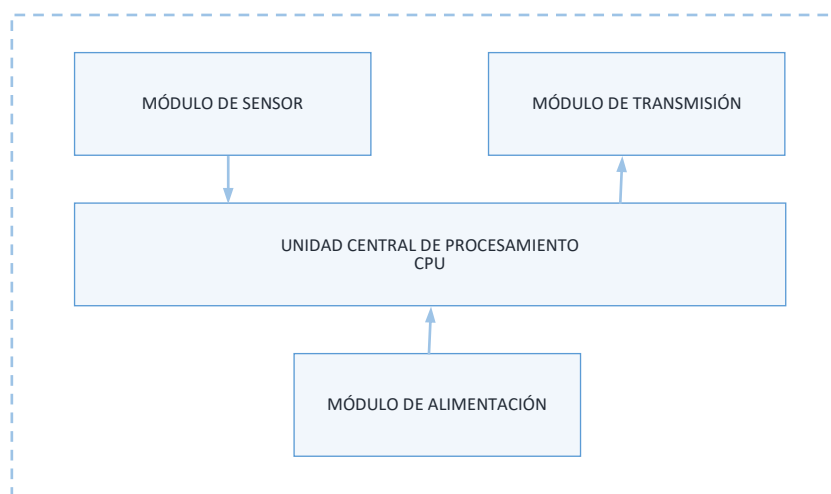


Figura 2: Diagrama de bloques del modulo SAOS.

El submódulo sensor es una de las partes más importantes de los sistemas de monitoreo climático. La selección de un dispositivo sensor adecuado para la lectura de datos, así como la planeación de pruebas es fundamental para evaluar su rendimiento a fin de evitar comportamientos no deseados (Catelani, Ciani, Scotto, & Zanobini, 2016). Para tal fin se ha elegido la sonda DS18B20 el cual puede medir temperatura desde los -55 °C hasta los 125 °C con una resolución programable de 9 a 12 bits ubicado a una altura de 2 metros, además está sellado en un envoltorio tipo estanco que lo protege del agua y la intemperie. Dado que es un sensor digital, la lectura no se degrada debido a la distancia del cableado. La tabla 1. presentan las características más relevantes.

Tabla 1: Especificaciones del sensor DS18B20 (Maxim Integrated Products Inc., 2019).

DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICA
Voltaje de operación:	Min 3.0 V / Max 5.5 V
Alimentación pullup:	Parasite power
Consumo de corriente:	4.0 mA
Tiempo de conversión de temperatura:	93.75 ms (9-bits de resolución) a 750 ms (12-bits de resolución)
Recubrimiento de protección:	Capsula de acero inoxidable 304 a prueba de agua.
Dimensiones:	6 mm de diámetro por 30 mm de largo.
Rango de operación:	-55 °C hasta los 125 °C.
Tolerancia:	±0.5 °C
Señal de salida:	Digital.
Tipo de conexión:	1-Wire bus

El módulo DS18B20 a nivel general especifica un margen de error de ± 0.5 °C, sin embargo, por el amplio rango de operación del sensor en la figura 3 se especifica una tolerancia máxima de ± 0.3 °C para el rango de operación al cual estará expuesto (-2 °C a 38 °C), lo cual se alinea a los parámetros de exactitud establecidos por la Organización mundial de meteorología (OMM) para mediciones de temperatura en estaciones automáticas.

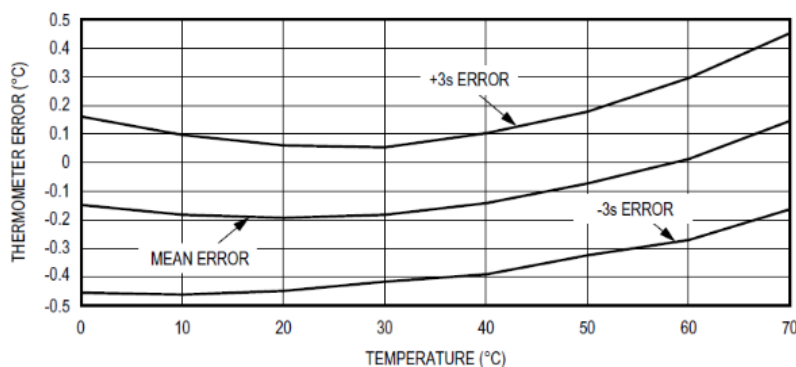


Figura 3: Curva de error típico de la sonda DS18B20 (Maxim Integrated Products Inc., 2019).

El submódulo CPU procesa los datos del sensor mediante una entrada analógica de una placa Arduino uno la cual está basada en el microcontrolador ATmega328P quien cuenta con un convertor Analógico-Digital de 10 bits de resolución.

El procedimiento estándar para obtener un dato en estaciones SAOS consiste en tomar lecturas instantáneas cada 20 segundos por un periodo de 5 minutos. Cada lecturas instantánea se valida individualmente, luego se calcula un valor medio o suavizado que representa a todo el conjunto (WMO, 2018). El procedimiento de validación se apoya en el cálculo estadístico para buscar posibles datos anómalos. El algoritmo consiste en comparar cada dato (X_i) con umbrales de referencia mínimos y máximos (Ecuación (1)), si algún dato esta fuera de este rango se le considera erróneo y deberá descartarse. Los umbrales mencionados se calculan a partir de sumar o restar la media aritmética (\bar{x}) con la desviación estándar (σ) (Martínez, 2019) calculados con datos estadísticos de las últimas horas.

$$X_{min} \leq X_i \leq X_{max} \quad (1)$$

Los valores anómalos son un problema omnipresente en la recolección de datos (Marcano & Fermín, 2013), en caso del SPDC al momento de su encendido este requiere un tiempo aproximado de dos horas para generar suficientes datos históricos que permitan validar las

nuevas mediciones. Este tiempo de procesamiento conocido como tiempo de estabilización del sistema genera datos poco confiables por tanto el SPDC no los almacenara en su base de datos interna.

El submódulo de transmisión es el encargado de asegurar la transmisión de datos entre los dos módulos, en este caso se ha elegido la tecnología inalámbrica por su facilidad de uso debido a que los agricultores en su mayoría son personas con poca experiencia en el manejo de equipos electrónicos. En cuanto al alcance de la comunicación depende en gran medida del tamaño de la propiedad tomando en cuenta que la diferencia de costo entre una tarjeta de corto y gran alcance es significativa, por tal motivo se ha decidido realizar pruebas con tres módulos de transmisión inalámbrica más comunes: RF-NRF24L01+, TTGO T-Beam V1.0 ESP32 LoRa NEO-6M y RFD900 Radio Modem. La tabla 2 muestra las características más destacadas de los módulos usados.

Tabla 2: Especificaciones de módulos de transmisión (Nordic Semiconductor ASA, 2008; Lilygo company, 2021; RFDesign Pty Ltd., 2013).

CARACTERÍSTICA	RF-NRF24L01+	TTGO T-Beam V1.0 ESP32 LoRa NEO-6M	RFD900 Radio Modem
Frecuencia de operación	2.4 GHz	433 MHz/868 MHz	902 M ~ 928 MHz
Costo aproximado en Ecuador	\$15 (Tx y Rx)	\$120 (dos módulos)	\$440 (dos módulos)
Voltaje de operación	3 ~ 3.6 V	3.7 ~ 4.2 V	4 ~ 5.5 V
Corriente de operación	45 m ~ 115 mA	10 m ~ 14 mA	60 m ~ 1 A
Tasa de datos	250K ~ 2 Mbps	0.018K ~ 37.5Kbps	250kbps
Antena	Si (una antena)	Si (una antena)	Si (dos antenas)
Dimensiones	46 x 17 mm	100.13 x 32.89 mm	30 x 57 x 12.8 mm
Temperatura de funcionamiento	-40 ~ +85 °C	-40 ~ +85 °C	-40 ~ +85 °C

Nota: El submódulo de carga y alimentación se muestra en la figura 4, está compuesto por un panel solar policristalino de 10 W y una batería seca de 9 Ah a 12 V conectados a un controlador de carga solar SCC-30A-PWM-LCD que tiene por función mantener cargada la batería durante las horas de sol de modo que el sistema continúe encendido en la noche, este a su vez cuenta con una salida de voltaje regulable para dotar de energía al módulo SAOS. En el caso de usar el módulo de transmisión de largo alcance RFD900 Radio Modem las necesidades de consumo de energía aumentan por lo que será necesario usar un panel solar de 30 W y una batería de 18 Ah.



Figura 4: Módulo de carga y alimentación del Sistema SAOS.

La Guía de prácticas meteorológicas agrícolas (WMO, 2010) especifica la representatividad de las mediciones en aplicaciones agrícolas a nivel de microescala, es decir que las muestras de temperatura del módulo SAOS podrán considerarse validas a un radio máximo de 100 metros, en el caso requerir una mayor cobertura se deberá planear una red de sensores. La figura 5 muestra el equipo instalado.



Figura 5: Sistema SAOS instalado.

La figura 6 muestra el interior de la gaveta de equipos.



Figura 6: Gaveta de equipos SAOS.

2.2. Diseño del módulo SSR

Este nodo SSR es quien recibe y procesa la información, sirviendo de interfaz con el usuario para configurar y visualizar los resultados obtenidos. Como se muestra en la figura 7, su diseño está compuesto de seis submódulos:

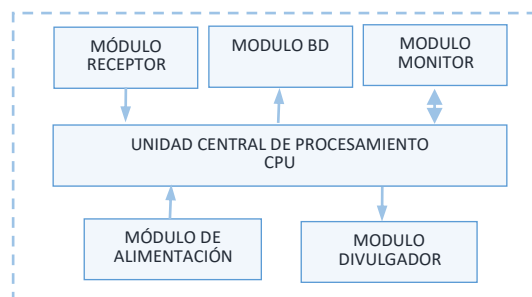


Figura 7: Diagrama de bloques del modulo SSA

El submódulo receptor al igual que el módulo transmisor del SAOS, este está compuesto por una placa RF-NRF24L01+ receptor, TTGO T-Beam V1.0 ESP32 LoRa NEO-6M o RFD900 Radio Modem. Es el encargado de capturar los datos enviados por el transmisor del SAOS y enviarlos hacia la CPU.

El submódulo CPU está compuesto por una placa Arduino Tmega2560 quien procesa los datos y los visualiza mediante una pantalla táctil TFT de 3.2 pulgadas en tiempo real, al mismo tiempo el sistema almacena los datos obtenidos en un módulo de base de datos compuesta por una tarjeta SD extraíble, con el fin de poder recuperarla en el futuro. La figura 8 muestra algunas pantallas del menú principal:



Figura 8: Pantalla táctil del módulo SSR.

El submódulo divulgador permite alertar una temperatura de estrés que puedan causar daños a los cultivos emitiendo un sonido en forma de alarma, esto es especialmente útil para las temperaturas mínimas debido a que generalmente ocurren en la noche (Hernandez, 2009).

El módulo de alimentación del sistema SSR al estar instalado en el interior de las viviendas, consta de un transformador de energía de 120 V CA a 5 V DC para que de esta manera el sistema pueda ser conectado a cualquier tomacorriente estándar. En la figura 9. Se muestra el sistema instalado.



Figura 9: Sistema SSR en vivienda.

3. Resultados

3.1. Calibración metrológica y confiabilidad de los datos censados

Para alcanzar el objetivo funcional del sistema se realizaron pruebas de calibración metrológica en laboratorio por el método de comparación (Aranda, Napán, & García, 2021). El procedimiento inicia definiendo seis temperaturas de muestreo equidistantes entre -2 °C y 38 °C. A continuación, se coloca el sensor DS18B20 junto con un sensor patrón de mayor sensibilidad en una cámara seca la cual se abriga a una primera temperatura de muestreo y se esperan 20 minutos hasta que los sensores se estabilicen, luego se registran mediciones de temperatura cada cinco minutos por cuarenta minutos, las ocho mediciones de cada sensor se promedian para obtener una primera medida de referencia. El procedimiento anterior se repitió para cada una de las seis temperaturas de muestreo, los resultados se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. Mediciones de temperaturas promedio.

Medición	Sensor patrón Hmp155a, °C	Desviación estándar	Sensor ds18b20, °C	Diferencia, °C	Desviación estándar
1	-2.3	0.1356	-3.4	-1.1	0.1642
2	6.1	0.0925	5.8	0.3	0.1597
3	14.3	0.0534	14.1	0.2	0.1060
4	22.3	0.0353	22.6	0.3	0.0916
5	30.2	0.0534	30.9	0.7	0.0517
6	38.1	0.0517	39.5	1.4	0.0517

La mayor desviación estándar encontrada en las mediciones de temperatura del sensor DS18B20 permite definir una variabilidad de ± 0.1642 . lo cual confirma la tolerancia especificada en la tabla 1. Con los datos de la tabla 3 se construyen las gráficas de comportamiento de cada sensor (Figura 10).

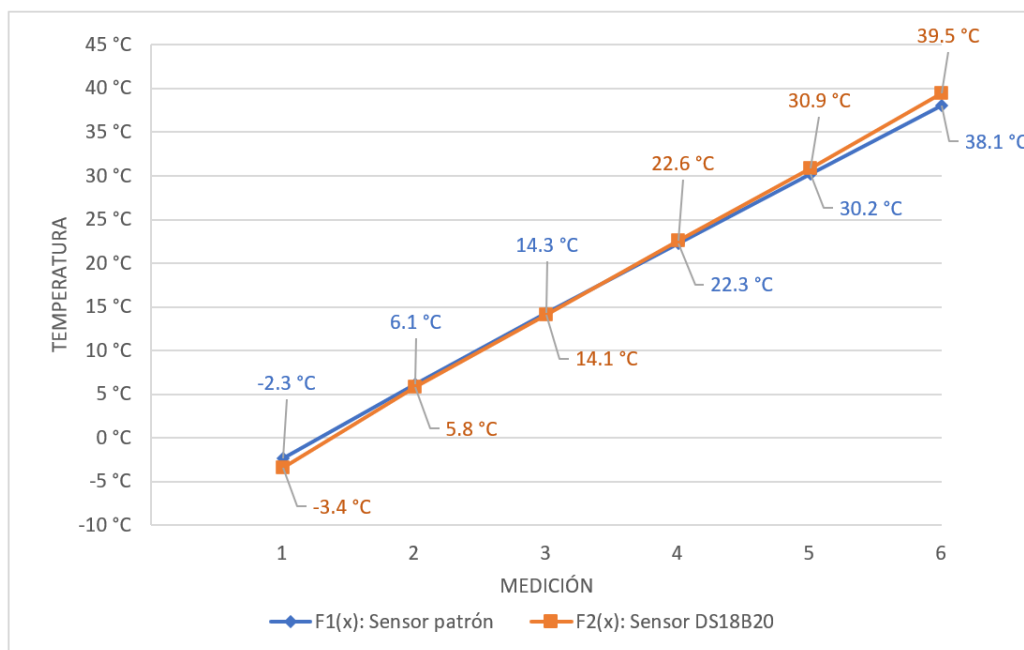


Figura 10: Gráfica de ecuaciones características.

Posterior se calcula el valor de sus ecuaciones características mediante la técnica de regresión lineal. Las ecuaciones (2) y (3) representan el comportamiento de los sensores patrón y DS18B20 respectivamente.

$$F_1(x) = 8.0657 X - 10.113 \quad (2)$$

$$F_2(x) = 8.5229 X - 11.58 \quad (3)$$

Al relacionar las ecuaciones (2) y (3) se puede encontrar una nueva ecuación que represente el ajuste deseado (Ecuación (4)).

$$F_1(x) = 0.9464 F_2(x) + 0.8458 \quad (4)$$

De forma general. la ecuación (4) se puede expresar como en ecuación (5).

$$T_{\text{corregida}} = 0.9464 T_{\text{medida}} + 0.8458 \quad (5)$$

La ecuación (5) es configurada en el datalogger del módulo SAOS para corregir los datos en tiempo real. Para confirmar la calibración se instaló el sensor DS18B20 con el patrón en campo durante 48 horas. donde se obtuvieron 576 datos de cada una. Con esta muestra se calculó la media de las diferencias entre ambos sensores obteniendo un error medio de 0.104 °C.

3.2. Alcance y confiabilidad de las comunicaciones

La determinación del alcance inalámbrico se lo realizó mediante pruebas de transmisión y recepción de datos entre los módulos SAOS y SSR a diferentes horas y entornos climáticos. para lo cual se usaron los tres módulos descritos en la tabla 4. El procedimiento consiste en realizar una prueba piloto con cada módulo donde se envían datos desde el módulo SAOS y validan en el módulo SSR al mismo tiempo se alejan los dos módulos para obtener un alcance máximo de referencia. posterior se instala de forma permanente por cinco días en cada medición de referencia. Si los datos históricos no contienen errores se establece esta medida como alcance máximo confiable. caso contrario se repite el procedimiento a una distancia menor. Los resultados también se muestran en la tabla 4.

Tabla 4: Alcance de transmisión de cuatro módulos inalámbrico

Módulo	Día soleado	Lluvia ligera (> 15 mm/h)	Lluvia fuerte (< 15 mm/h)
RF-NRF24L01+	37 m	37 m	31 m
TTGO T-Beam V1.0 ESP32 LoRa NEO-6M	1.83 km	1.55 km	0.92 km
RFD900 Radio Modem	19 km	19 km	11 km

3.3. Capacidad de almacenamiento

Las pruebas se realizaron midiendo el tamaño del archivo de texto DATOS_SISMET.txt generado en la tarjeta SD durante 1, 7, 15, 30, 60 y 90 días donde se guarda las mediciones validadas. El formato en su interior está compuesto por fecha, hora y lectura de temperatura en grados centígrados como se muestra en la figura 11.

FECHA	HORA	TEMPERATURA(°C)
8/6/2021	0:00:00	10.3
8/6/2021	0:05:00	10.3
8/6/2021	0:10:00	10.3
8/6/2021	0:15:00	10.3
8/6/2021	0:20:00	10.3
8/6/2021	0:25:00	10.2
8/6/2021	0:30:00	10.3

Figura 11: Formato de almacenamiento de datos.

Los resultados de las mediciones se muestran en la tabla 5.

Tabla 5: Tamaño de datos

Tiempo. días	Tamaño. bytes
1	8192
7	49152
15	94208
30	188416
60	376832
90	565248

Se puede observar que a partir de 94208 bytes el tamaño del archivo crece proporcionalmente. lo cual permitió realizar pruebas de laboratorio y determinar que una tarjeta SD de 512MB tendrá espacio suficiente para almacenar datos por 200 años.

3.4. Grado de aceptación del prototipo

La evaluación del sistema fue realizada mediante pruebas de funcionamiento con agricultores de la provincia de Chimborazo en Ecuador. luego se aplicó una entrevista para conocer el grado de aceptación y facilidad de manejo mediante la escala de Likert (Matas, 2018), los datos obtenidos se muestran en la figura 12.

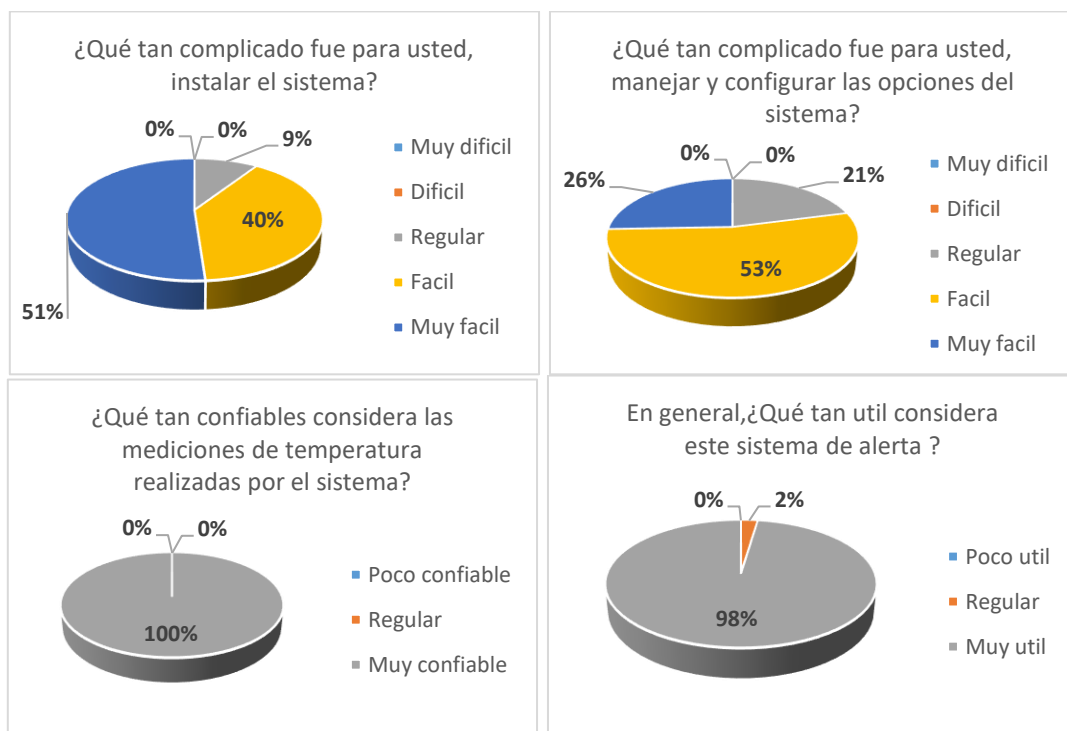


Figura 12: Evaluación del grado de aceptación del SPDC.

4. Discusión

El valor de exactitud interpretado en términos de incertidumbre del sensor DS18B20 encontrada en la sección 3.1 es menor a 0.2 °C y por tanto se encuentran dentro de los criterios establecidos por la Organización Mundial de Meteorología (WMO. 2018) para mediciones de temperatura en estaciones SAOS concluyendo que el SPDC cumple con estándares internacionales.

Las características de transmisión de los sistemas de monitoreo agrícolas deben alinearse a la realidad de los agricultores en Ecuador que casi nunca cuentan con una vasta extensión de terreno aledaño a su vivienda. por el contrario. sus cultivos están distribuidos en varias parcelas distantes geográficamente. Al analizar los datos mostrados en sección 3.2 se puede observar que el módulo RF-NRF24L01+ logró mantener una comunicación máxima confiable de 37 metros. está puede ser aplicable en pequeños proyectos estudiantiles. sin embargo. no se considera suficiente para aplicaciones prácticas. Por otro lado. los módulos TTGO y RFD900 alcanzaron comunicaciones de 1.83 y 19 km respectivamente similar a los obtenidos por Facina. Tancredo. Facina. & Fraidenraich (2021) a -110dBm y Gómez. Calvillo. & Núñez (2018) ,lo que sugiere que el sistema es viable para aplicaciones en agricultura.

El registro local de datos es parte importante de los sistemas de monitoreo meteorológicas (Angheben. Bianchi. & Spadari. 2017) para su uso en estudios de clima, construcción, agrícola, salud, entre otros, especialmente si tiene una periodicidad de varios años (WMO. 2018; Stel. Aranda. Halbrandt. & Sanchez. 2019). Bajo esta premisa, en la sección 3.3, se pudo mostrar que el SPDC está en la capacidad de almacenar datos por varias décadas haciéndolo útil para trabajos investigativos.

Después de analizar los datos obtenidos en la sección 3.4, se determinó que el SPDC cuenta con un alto grado de aceptación por parte de los agricultores debido a su facilidad de uso y utilidad que esta representa al momento de detectar la proximidad de una temperatura que pudiera ocasionar daños en los cultivos.

5. Conclusiones

Se desarrollo un sistema electrónico para monitorear y alertar las temperaturas extremas soportables por diferentes tipos de cultivos con el objetivo de otorgar al agricultor una herramienta que aumente la precisión al momento aplicar los diferentes métodos de mitigación ante posibles daños. El sistema desarrollado cuenta con una base de datos de gran capacidad almacenamiento convirtiéndolo en una fuente de información confiable para futuros estudios e investigaciones. Su sistema de comunicación inalámbrico ha cumplido con el propósito de ser confiable y de fácil instalar. El diseño del SYSMET fue planeado y desarrollado de forma modular. a fin de poder comparar diferentes tecnologías de transmisión existentes lo cual otorga una referencia según las necesidades de cada usuario. La elección del tipo de sensor y los métodos de muestreo de datos fueron desarrollados en armonía con las especificaciones otorgadas por la OMM. El presente estudio puede ser complementado en investigaciones posteriores con la inclusión de un mayor número de sensores enfocados no solo al área agronómica sino también a salud.

aviación. construcción. etc. donde la confiabilidad de los datos adquiere especial importancia ya que los fenómenos meteorológicos cambian constantemente en pocas horas o minutos.

Contribuciones de los autores

En concordancia con la taxonomía establecida internacionalmente para la asignación de créditos a autores de artículos científicos (<https://casrai.org/credit/>). Los autores declaran sus aportes en la siguiente matriz de contribuciones:

	Freire-Sánchez. L-	Coello-Gavilanes. M.
Conceptualización		
Análisis formal		
Investigación		
Metodología		
Recursos		
Validación		
Redacción – revisión y edición		

Conflicto de Interés

Los autores declaran que no existe conflicto de interés de naturaleza alguna en la presente investigación.

Referencias

- Altieri. M., & Nicholls. C. (2008). Los impactos del cambio climático sobre las comunidades campesinas y de agricultores tradicionales y sus respuestas adaptativas. *Agroecología*. 3(1). p. 7–28. Recuperado de <https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/95471>
- Álvarez. S. (2011). *Riego deficitario en distintas etapas del desarrollo de plantas ornamentales cultivadas en maceta* (Tesis de pregrado). Cartagena. Colombia: Universidad Politécnica de Cartagena. Recuperado de <https://repositorio.upct.es/handle/10317/3194>
- Angheben. E., Bianchi. G., & Spadari. G. (2017). Importancia del registro local de datos meteorológicos. Estudio de caso. Escuela agraria de 30 de agosto. PCIA. de Buenos Aires. En 4° Jornadas ITE. Buenos Aires. Argentina. Recuperado de <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/60274>
- Aranda. N., Napán. R., & García. J. (2021). *Optimización de los métodos y procedimientos de calibración de termohigrómetros en el Centro Regional de Instrumentos de Buenos Aires* (No.

- SMN 2021-102). Servicio Meteorológico Nacional de Argentina. Recuperado de <http://repositorio.smn.gov.ar/handle/20.500.12160/1684>
- Catelani, M., Ciani, L., Scotto, R., & Zanobini, A. (2016). Measurements and characterization of air temperature sensors for weather stations. In *2016 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference Proceedings*. Florence, Italy. <https://doi.org/10.1109/I2MTC.2016.7520372>
- Chaves, N., & Gutiérrez, M. (2017). Respuestas al estrés por calor en los cultivos. II. Tolerancia y tratamiento agronómico. *Agronomía Mesoamericana*, 28(1), p. 255–271. Recuperado de: <https://www.scielo.sa.cr/pdf/am/v28n1/43748637021.pdf>
- Facina, A., Tancredo, R., Facina, M., & Fraidenraich, G. (2021). Comunicação lora na zona rural: análise baseada em uma campanha de medição no noroeste paulista. En *XXXIX simpósio brasileiro de telecomunicações e processamento de sinais*. Fortaleza, Brazil. Recuperado de <https://biblioteca.sbrt.org.br/articlefile/2874.pdf>
- Fischer, G., Carvajal, F., & Bazurto, J. (2007). Efecto de la temperatura del suelo sobre la planta. 1. Crecimiento y desarrollo. *Revista Comalfi*, 24(3), p. 78–92. Recuperado de <https://n9.cl/oyxqm>
- Fuentes, I. (2015). *Evaluación de estrategias de mitigación contra riesgos climáticos en el cultivo de papa (solanum tuberosum spp. andigenum) en la comunidad de Khapi del municipio de Palca* (Tesis de grado para optar al título de Ingeniero Agrónomo). La Paz, Bolivia: Universidad Mayor de San Andrés. Recuperado de <https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/5842>
- Gómez, A., Calvillo, A., & Núñez, J. (2018). Predicción de la pérdida de la señal por trayectoria de Dron. *Aristas*, 6(12), p. 194–197. Recuperado de <http://fcqi.tij.uabc.mx/usuarios/revistaaristas/numeros/N12/articulos/194-197.pdf>
- Hernandez, F. (2009). *Análisis de la variabilidad climática de la costa ecuatoriana* (Tesis de pregrado). Guayaquil, Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral. Recuperado de <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/1767>
- Lichtenthaler, H. K. (1996). Vegetation Stress: an Introduction to the Stress Concept in Plants. *Journal of Plant Physiology*, 148(1-2), p. 4–14. [https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(96\)80287-2](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(96)80287-2)
- Lilygo company. (2021). *TTGO T-Beam V1.1 ESP32 WiFi Bluetooth Module ESP32 GPS NEO-6M Data sheet*. Recuperado de http://www.lilygo.cn/prod_view.aspx?TypeId=50060&Id=1163&FId=t3:50060:3
- Marcano, L., & Fermín, W. (2013). Comparación de métodos de detección de datos anómalos multivariantes mediante un estudio de simulación. *Saber*, 25(2), p. 192–201. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/4277/427739462009.pdf>
- Martínez, C. (2019). *Estadística Básica aplicada* (5th ed.). Bogota, Colombia: Ecoe ediciones.

- Martínez. L., Ibacache. A., & Rojas. L. (2017). *Efecto de las heladas en la agricultura (INIA N° 165)*. Instituto de investigaciones agropecuarias. Intihuasi. Chile. Recuperado de: <https://hdl.handle.net/20.500.14001/7167>
- Matas. A. (2018). Diseño del formato de escalas tipo Likert: un estado de la cuestión. *Revista Electrónica de Investigación Educativa*. 20(1). p. 38–47. <https://doi.org/10.24320/redie.2018.20.1.1347>
- Maxim Integrated Products Inc. (2019). *DS18B20. Programmable resolution 1-Wire digital thermometer data sheet*. Recuperado de <https://n9.cl/km0pq>
- Montoya. M., Restrepo. F., Moreno. N., & Mejía. P. (2014). Impacto del manejo de agroquímicos. parte alta de la microcuenca Chorro Hondo. Marinilla. 2011. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*. 32(2). p. 26–35. Recuperado de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-386X2014000200004
- Moreira. J., & Vera. J. (2016). *Contaminación por agroquímicos en agua. suelo y fruto en el cultivo de tomate (Lycopersicon esculentum Mill) en las comunidades: Guabital y Las Maravillas del cantón Rocafuerte. época seca 2016 (Tesis de pregrado)*. Manabí. Ecuador: Universidad laica Eloy Alfaro de Manabí. Recuperado de <https://repositorio.ulead.edu.ec/handle/123456789/305?locale=en>
- Nordic Semiconductor ASA. (2008). *nRF24L01+ Data sheet - Single chip 2.4GHz transceiver specification*. Recuperado de <https://n9.cl/hbve4>
- RFDdesign Pty Ltd. (2013). *RFD900 Radio modem data sheet*. Recuperado de <http://files.rfdesign.com.au/Files/documents/RFD900%20DataSheet.pdf>
- Steiner. F. (2020). *Plant Abiotic Stress Tolerance*. Mato Grosso. Brazil: Pantanal Editora. <https://doi.org/https://doi.org/10.46420/9786588319024>
- Stel. L., Aranda. N., Halbrandt. G., & Sanchez. G. (2019). *Criterios generales sobre la selección de sitios de medición. instrumental e instalación de estaciones meteorológicas automáticas (No. SMN 2019-52)*. Servicio Meteorológico Nacional. Buenos Aires. Argentina: Recuperado de <http://repositorio.smn.gov.ar/handle/20.500.12160/891>
- Trillo. E. (2020). *Percepciones de los agricultores en relación al cambio climático en el distrito de Ataura (Tesis para optar al título profesional de licenciatura en Antropología)*. Huancayo. Perú: Universidad Nacional del centro del Perú. Recuperado de <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/6036>
- WMO. (2010). *Guide to agricultural meteorological practices*. Ginebra. Suiza: World Meteorological Organization. Recuperado de https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=3996
- WMO. (2018). *Guide to Instruments and Methods of Observation (Vol. 1)*. Ginebra. Suiza: World Meteorological Organization. Recuperado de https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=4236.