

Monitoreo agroclimático con IoT para determinar la viabilidad y potenciar el cultivo de hortalizas en La Peña, Herrera, Panamá

Agroclimatic monitoring with IoT to determine the viability and enhance vegetable cultivation in La Peña, Herrera, Panama

Alexis D. Camargo C.

Universidad de Panamá, Centro Regional Universitario Azuero, Panamá.
alexis.camargo@up.ac.pa <https://orcid.org/0000-0002-1801-0712>

Félix H. Camarena Q.

Universidad de Panamá, Centro Regional Universitario Azuero, Panamá.
felix.camarena@up.ac.pa <https://orcid.org/0000-0002-5601-3252>

Isabel G. García G.

Universidad de Panamá, Centro Regional Universitario Azuero, Panamá.
isabel1014garcia@gmail.com <https://orcid.org/0009-0004-1389-3343>

Recepción: 10 mayo 2026.

Aprobación: 16 agosto 2026.

DOI: <https://doi.org/10.48204/semillaeste.v7n1.11387>

Abstract

This project evaluated how agroclimatic conditions recorded using IoT technology influence the viability of vegetable cultivation in La Peña, Las Minas district, Herrera province. Despite having a potentially favorable climate, the region does not have significant horticultural production, partly due to soil acidity and a lack of accurate climate information that limits agricultural planning. To address this problem, a SparkFun ESP32 MicroMod IoT weather station was installed, collecting data every five minutes for eight weeks, measuring variables such as temperature, soil moisture, precipitation, and wind speed. Simultaneously, experimental plots were established with five crops: celery, romaine lettuce, cucumber, chili peppers, and tomato. Plant growth and health were monitored weekly through direct observation and field measurements. The results revealed that cucumber, tomato, and chili peppers showed sustained growth and good adaptation to local conditions, even under high temperatures. In contrast, celery and lettuce showed greater sensitivity to heat and low relative humidity. Significant correlations were identified between climatic variables and plant development, allowing for the establishment of reference parameters to optimize horticultural production in the area. The research concludes that the use of IoT technology is an effective tool for generating accurate data, supporting agronomic decisions, selecting adapted crops, and proposing strategies such as smart

irrigation and heat mitigation, thus strengthening agricultural sustainability in rural communities.

Keywords: Agroclimate, Crops, Vegetables, Agricultural sustainability, IoT technology

Resumen

Este proyecto evaluó cómo las condiciones agroclimáticas registradas mediante tecnología IoT influyen en la viabilidad del cultivo de hortalizas en La Peña, distrito de Las Minas, provincia de Herrera. A pesar de contar con un clima potencialmente favorable, la región no presenta una producción hortícola significativa, en parte debido a la acidez del suelo y la falta de información climática precisa que limita la planificación agrícola. Para abordar este problema, se instaló una estación meteorológica IoT SparkFun ESP32 MicroMod que recolectó datos cada cinco minutos durante ocho semanas, midiendo variables como temperatura, humedad del suelo, precipitación y velocidad del viento. Simultáneamente, se establecieron parcelas experimentales con cinco cultivos: apio, lechuga romana, pepino, ajíes y tomate. Se realizó un seguimiento semanal del crecimiento y la sanidad de las plantas mediante observación directa y mediciones en campo. Los resultados revelaron que el pepino, tomate y ajíes presentaron un crecimiento sostenido y buena adaptación a las condiciones locales, incluso bajo temperaturas elevadas. En contraste, el apio y la lechuga mostraron mayor sensibilidad al calor y a la baja humedad relativa. Se identificaron correlaciones significativas entre variables climáticas y desarrollo vegetal, lo que permitió establecer parámetros de referencia para optimizar la producción hortícola en la zona. La investigación concluye que el uso de tecnología IoT es una herramienta eficaz para generar datos precisos, apoyar decisiones agronómicas, seleccionar cultivos adaptados y proponer estrategias como riego inteligente y mitigación térmica, fortaleciendo la sostenibilidad agrícola en comunidades rurales.

Palabras clave: Agroclima, Cultivos, Hortalizas, Sostenibilidad agrícola, Tecnología IoT

Introducción

La agricultura sigue siendo una de las principales actividades económicas en muchas comunidades rurales de Panamá, como es el caso de La Peña, en el distrito de Las Minas, provincia de Herrera. En esta región, la producción agrícola depende en gran medida de las condiciones climáticas locales, las cuales pueden variar significativamente en cortos periodos de tiempo (Mubenga-Tshitaka et al., 2023). Esta variabilidad influye directamente en factores esenciales para el desarrollo vegetal, como la temperatura, la humedad relativa, la humedad del suelo y la incidencia solar, haciendo necesario un monitoreo más preciso y continuo de estas variables (Meteo Tech, 2025).

Actualmente, los cambios en los patrones climáticos y la irregularidad de las lluvias plantean desafíos adicionales para los productores, quienes deben adaptar sus prácticas para minimizar riesgos y evitar pérdidas. Según la FAO (2020), el cambio climático afecta la seguridad alimentaria al alterar las condiciones óptimas para el cultivo de alimentos, lo que exige nuevas formas de gestión agronómica. En respuesta a esta realidad, las tecnologías emergentes como el Internet de las Cosas (IoT) ofrecen

herramientas innovadoras para la recolección automatizada de datos ambientales, mejorando la toma de decisiones en el campo (CINTEL - CoC AGROTECH, 2025).

La incorporación de estaciones meteorológicas inteligentes permite obtener información en tiempo real sobre las condiciones del entorno, lo que representa una ventaja importante frente a los métodos tradicionales de observación. En estudios recientes, se ha demostrado que los sensores IoT contribuyen a detectar a tiempo factores de estrés ambiental y optimizar recursos como el agua y los fertilizantes (Chanchí-Golondrino et al., 2022). Estas tecnologías también facilitan el análisis de patrones climáticos a nivel local, lo cual es clave para adaptar la producción hortícola en zonas con condiciones diversas o inestables.

En este contexto, el presente estudio se propuso evaluar la respuesta de cinco cultivos hortícolas (apio, lechuga romana, pepino, ajíes y tomate) ante las condiciones agroclimáticas propias de la comunidad de La Peña. Para ello, se instaló una estación meteorológica IoT con sensores de temperatura, humedad del aire y del suelo, velocidad del viento y presión atmosférica, cuyos datos fueron analizados junto con registros semanales del crecimiento de las plantas durante ocho semanas. Esta experiencia busca aportar información útil para futuros proyectos de agricultura inteligente en comunidades rurales con potencial hortícola.

Materiales y métodos

Ubicación del área de estudio

La investigación se desarrolló en la comunidad de La Peña, ubicada en el distrito de Las Minas, provincia de Herrera, a una altitud de 669 metros sobre el nivel del mar. Este sitio forma parte de la reserva forestal El Montuoso y presenta temperaturas promedio entre 18 °C y 25 °C.

Figura 1.

Ubicación de la estación base de monitoreo y parcelas de hortalizas en la Peña, distrito de las Minas.



Fuente: Google Maps

Diseño experimental

Se establecieron cinco parcelas experimentales bajo condiciones protegidas con malla saran al 80 %, cada una destinada al cultivo de una hortaliza específica: apio, lechuga romana, pepino, ajíes y tomate. Previamente, se realizó un análisis del suelo que mostró acidez elevada y deficiencia de nutrientes, por lo que se aplicó cal para neutralizar el pH y materia orgánica para enriquecer la tierra. Las prácticas de cultivo se ajustaron de acuerdo con las necesidades agronómicas de cada especie.

Monitoreo agroclimático

Para el registro continuo de variables ambientales, se instaló una estación meteorológica IoT SparkFun ESP32 MicroMod. Esta estación recolectó datos cada cinco minutos durante ocho semanas, registrando temperatura del aire, humedad relativa, humedad del suelo, precipitación y velocidad del viento. Los datos se enviaron automáticamente a la plataforma ThingSpeak, donde fueron almacenados y luego exportados para su análisis.

Figura 2.

Estación meteorológica SparkFun ESP32 MicroMod utilizada en el estudio.



Fuente: https://cdn.bodanius.com/media/1/13e154905_sparkfun-arduino-iot-weather-station_x.jpg

Técnicas de recolección de datos

Las variables climáticas se registraron automáticamente mediante sensores específicos conectados a la estación meteorológica. A la vez, se realizó un monitoreo semanal del desarrollo de los cultivos utilizando observación directa, medición de altura de plantas, conteo de hojas y registro de presencia de plagas o enfermedades.

Tabla 1.

Principales características de la estación SparkFun ESP32 MicroMod

Característica	Descripción
Procesador	MicroMod ESP32 (WiFi y Bluetooth integrados)
Conectividad	WiFi 802.11 b/g/n, Bluetooth BLE
Puertos para sensores	3 conectores RJ11 para viento y lluvia
Sensor ambiental recomendado	Bosch BME280 (temperatura, humedad y presión)
Sensor de lluvia	Pluviómetro tipo balancín (reed switch, RJ11)
Sensor de viento	Anemómetro y veleta (reed switch y salida analógica)
Humedad del suelo	Sensor capacitivo/resistivo (entrada analógica)
Almacenamiento	Ranura microSD

Fuente: Los Autores

Resultados y discusión

Durante el periodo de monitoreo de ocho semanas, se recolectaron datos climáticos y de desarrollo de cultivos que permitieron establecer relaciones entre las condiciones ambientales y el crecimiento de cinco hortalizas: apio, lechuga romana, pepino, ajíes y tomate.

Condiciones climáticas registradas

Las temperaturas promedio oscilaron entre 23,4 °C y 26,1 °C. La humedad relativa mostró un rango de 59,1 % a 78,4 %, mientras que la humedad del suelo se mantuvo elevada (95,1 %-98,7 %) gracias al riego manual. La velocidad del viento fue baja (4,3-6,7 km/h) y la precipitación fue mínima, menor a 1 mm semanal durante la mayor parte del estudio.

Tabla 2.

Variables climáticas semanales (promedio semanal)

Semana	Temp. (°C)	Humedad Rel. (%)	Presión (hPa)	Humedad Suelo (%)	Vel. Viento (km/h)	Precipitación (mm)
1	24,1	78,4	926,9	95,1	6,7	0,1
2	23,8	77,1	932,0	95,6	4,3	0,1
3	23,9	73,6	948,2	95,4	5,7	0,2
4	24,2	70,9	938,0	95,5	5,7	0,6
5	23,9	75,4	936,2	96,7	6,2	0,3
6	24,3	73,2	936,5	98,2	5,3	0,1
7	23,4	73,8	938,3	98,1	6,1	0,3
8	26,1	59,1	943,4	98,7	5,6	0,5

Crecimiento de cultivos

Los cultivos mostraron patrones de crecimiento diferenciados. El pepino fue el de mayor desarrollo con 202 cm al final del periodo, seguido por el tomate (72 cm) y los ajíes (52 cm). El apio y la lechuga presentaron un crecimiento más lento, posiblemente por su sensibilidad al calor.

Tabla 3.

Crecimiento promedio semanal por cultivo

Semana	Pepino (cm)	Apio (cm)	Ajés (cm)	Lechuga (cm)	Tomate (cm)
1	10	11	13	5	4
2	17	14	15	8	9
3	21	20	20	9	11
4	46	28	26	11	15
5	89	39	34	14	28
6	136	58	40	16	40
7	180	69	49	18	60
8	202	74	52	19	72

Los resultados obtenidos del monitoreo agroclimático mediante la estación IoT SparkFun ESP32 MicroMod y el registro del crecimiento de los cultivos en La Peña, Herrera, revelaron correlaciones significativas entre las variables ambientales y el desarrollo de las hortalizas.

El pepino fue el cultivo de mayor crecimiento (202 cm), seguido por el tomate (72 cm) y los ajés (52 cm), mostrando una buena adaptación a las condiciones locales. Este patrón puede explicarse por su mayor tolerancia térmica. Di Fabio et al. (s.f.) afirman que cultivos como el pepino y el ají hacen un uso más eficiente de la radiación solar y toleran temperaturas elevadas, lo cual se evidenció en este estudio. En contraste, el apio y la lechuga romana fueron más sensibles al calor. Chaves-Barrantes y Gutiérrez-Soto (2017) reportan que el estrés por calor reduce significativamente el crecimiento en estas especies, especialmente cuando las temperaturas superan los 25 °C.

El caso de la lechuga romana fue particularmente revelador: en la semana 8, cuando la temperatura alcanzó los 26,1 °C y la humedad relativa descendió al 59,1 %, su crecimiento se redujo casi completamente. Cherlinka (2025) agrega que un exceso de temperatura combinado con baja humedad altera el equilibrio hídrico y la absorción de nutrientes, limitando el desarrollo vegetal. En este contexto, se hace evidente la necesidad de aplicar técnicas de manejo como el sombreado o el riego especializado para este tipo de cultivos.

En el caso del pepino, su crecimiento constante incluso en la semana más calurosa confirmó lo planteado por Valdez-Aguilar et al. (2024), quienes señalan que el pepino requiere suelos

permanentemente húmedos para lograr un crecimiento óptimo, lo cual fue posible gracias al monitoreo continuo de humedad mediante sensores IoT. CINTEL - CoC AGROTECH (2025) resalta precisamente que esta tecnología permite ajustar parámetros en tiempo real para mantener condiciones favorables de cultivo.

El crecimiento del apio también fue limitado por el calor. Cherlinka (2023) advierte que este cultivo sufre estrés cuando la temperatura supera los 25 °C. Asimismo, el Banco Interamericano de Desarrollo et al. (2005) subraya que el apio necesita condiciones muy específicas de pH, materia orgánica y humedad, lo cual coincide con los desafíos encontrados en este proyecto, donde fue necesario aplicar cal y compost para mejorar el suelo.

Los ajíes, aunque no alcanzaron el tamaño del pepino o el tomate, mostraron un crecimiento estable. Kim et al. (2023) indican que el ají se desarrolla bien entre 20 °C y 30 °C si cuenta con suficiente luz solar. Además, Rázuri et al. (2009) señalan que un buen manejo del riego es clave para evitar retrasos en el desarrollo, como se observó en las semanas de mayor estrés térmico. Según Torres y Rojas (2024), el uso de sensores IoT en este tipo de cultivos tropicales permite tomar decisiones oportunas frente a condiciones adversas, lo cual se validó en esta investigación.

El tomate mostró un crecimiento más lento en las primeras semanas, pero se aceleró a partir de la semana cinco, coincidiendo con niveles altos de humedad del suelo. Jaramillo Noreña et al. (s.f.) afirman que esta especie puede adaptarse a climas cálidos si se garantiza buena ventilación y riego. Ferreira (2024) complementa que, además del control térmico, es esencial evitar enfermedades por hongos mediante una adecuada gestión de humedad ambiental. En este estudio no se presentaron enfermedades, probablemente gracias a la baja humedad relativa y ventilación natural. Chanchí-Golondrino et al. (2022) refuerzan que el monitoreo ambiental con IoT permite anticiparse a riesgos fitosanitarios, especialmente en cultivos exigentes como el tomate.

En conjunto, estos resultados muestran que el uso de herramientas tecnológicas como IoT, combinado con prácticas agronómicas adaptadas, permite optimizar la producción hortícola en zonas rurales con condiciones agroclimáticas desafiantes.

Conclusiones

La instalación de la estación meteorológica IoT permitió obtener registros continuos y confiables de variables climáticas en tiempo real, cumpliéndose así el objetivo de monitoreo agroclimático en la comunidad de La Peña, Las Minas, Herrera.

El seguimiento del desarrollo de los cultivos de estudio (apio, lechuga romana, pepino, ajíes y tomate) evidenció diferencias en su adaptación a las condiciones locales. El pepino, el tomate y los ajíes presentaron un crecimiento constante y sostenido, lo que demostró una mayor tolerancia a temperaturas elevadas y a la variabilidad de la humedad relativa.

Por el contrario, el apio y la lechuga romana mostraron una menor capacidad de adaptación, con un crecimiento más lento en las semanas de mayor temperatura y menor humedad. Esto confirmó que estos cultivos son más sensibles al estrés térmico, lo que limita su viabilidad bajo condiciones no modificadas.

Se confirmaron correlaciones entre variables climáticas y el desarrollo vegetal, en especial la relación inversa entre temperatura y humedad relativa, y su impacto en cultivos sensibles. Estas relaciones permitieron establecer parámetros de referencia útiles para la planificación hortícola en la región.

Si bien las condiciones agroclimáticas locales permitieron el desarrollo de algunos cultivos, no todas las especies evaluadas alcanzaron un rendimiento óptimo sin ajustes en el manejo.

Finalmente, este estudio generó una base de datos inédita sobre las condiciones agroclimáticas y la respuesta de cultivos hortícolas en La Peña, lo cual constituye una herramienta valiosa para orientar decisiones agronómicas en comunidades rurales con condiciones similares.

Agradecimientos

Este trabajo fue posible gracias al apoyo financiero proporcionado por la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENACYT) de Panamá, a través de su programa Jóvenes Científicos. Se expresa agradecimiento a SENACYT por su compromiso con el desarrollo científico y el fomento de la investigación en jóvenes investigadores, brindando la oportunidad de contribuir al

avance del conocimiento en Tecnología y la Agricultura.

Referencias

- Arenas, A. L. O., Ochoa, M. R., & Miranda, J. P. R. (2017). Planificación y gestión de los recursos hídricos: una revisión de la importancia de la variabilidad climática. <https://www.redalyc.org/journal/5177/517752178008/html/>
- Banco Interamericano de Desarrollo, Casaca, Á. D., Sierra, E., Cruz, J., & Casaca, Á. D. (2005). Guías Tecnológicas de Frutas y Vegetales. <https://dicta.gob.hn/files/2005,-El-cultivo-del-pepino,-F.pdf>
- Chanchí-Golondrino, G. E., Ospina-Alarcón, M. A., y Saba, M. (2022). Sistema IoT para el monitoreo de variables climatológicas en cultivos de agricultura urbana. *Revista Científica*, 44(2), 257-271. <https://doi.org/10.14483/23448350.18470>
- Chaves-Barrantes, N. F., & Gutiérrez-Soto, M. V. (2017). Respuestas al estrés por calor en los cultivos. I. aspectos moleculares, bioquímicos y fisiológicos. <https://www.redalyc.org/journal/437/43748637020/html/>
- Cherlinka, V. (2023, December 15). Estrés térmico en plantas: causas y síntomas. EOS Data Analytics. <https://eos.com/es/blog/estres-termico-en-plantas/>
- Cherlinka, V. (2025, July 3). Cultivo de lechuga: pasos de la siembra a la cosecha. EOS Data Analytics. <https://eos.com/es/blog/cultivo-de-lechuga/>
- CINTEL - CoC AGROTECH. (2025). Agricultura de precisión: Monitoreo inteligente con sensores. https://cintel.co/wp-content/uploads/2025/02/AGRICULTURA-DE-PRECISION-Monitoreo-inteligente-con-sensores_v2.pdf
- Di Fabio, A., Lozoya-Gloria, E., & dos Santos-Olivera, F. (s.f.). Producción y manejo del cultivo de pimientos. Intercoonecta. <https://intercoonecta.aecid.es/Gestin%20del%20conocimiento/0029-3%20Cultivo%20de%20pimientos.pdf>
- FAO. (2019). Evapotranspiración del cultivo. <https://www.fao.org/3/x0490s/x0490s.pdf>
- FAO. (2020). Clima y agricultura: guía para la acción climática en el sector agropecuario. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Ferreira, M. (2024, December 21). Guía Práctica para el Cultivo del Tomate. Huertox. <https://huertox.com/cultivo-del-tomate-guia-completa/>

- Jaramillo Noreña, J. E., Rodríguez, V. P., & Aguilar Aguilar, P. A. (s.f.). Tecnología para el cultivo de tomate bajo condiciones protegidas.
https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/1381/Ver_documento_1381.pdf
- Kim, M. K., Jeong, H. B., Yu, N., Park, B. M., Chae, W. B., Lee, O. J., Lee, H. E., & Kim, S. (2023). Comparative heat stress responses of three hot pepper (*Capsicum annuum* L.) genotypes differing temperature sensitivity. *Scientific Reports*, 13(1).
<https://doi.org/10.1038/s41598-023-41418-5>
- Meteo_Admin. (2025, January 15). Los 5 factores climáticos clave que afectan a tus cultivos. Meteo.Tech. <https://meteo.tech/blog/5-factores-climaticos-clave-que-afectan-a-tus-cultivos/>
- Mubenga-Tshitaka, J., Dikgang, J., Mwamba, J. W. M., & Gelo, D. (2023). Climate variability impacts on agricultural output in East Africa. *Cogent Economics & Finance*, 11(1).
<https://doi.org/10.1080/23322039.2023.2181281>
- Rázuri, L., Pérez, A. T., Hernández, J. D., Rosales, J. G., CIDIAT-ULA, & IMDERURAL Mérida-Venezuela. (2009). Manejo del agua en el cultivo del ají (*Capsicum chinense* Jacq) a través de tensiómetro y tina de evaporación, utilizando riego localizado. *Academia*, VIII-VIII(15), 2-17. <http://erevistas.saber.ula.ve/index.php/academia/article/view/6048/5853>
- Rotoplas. (2025, mayo 21). Estrategias de gestión integral del agua en el riego de cultivos. <https://rotoplas.com.mx/estrategias-de-gestion-integral-del-agua-en-el-riego-de-cultivos/>
- Torres, F., & Rojas, C. (2024). Internet de las cosas aplicado a la agricultura: estado actual y su aplicación mediante un prototipo. *Revista Iberoamericana de Sistemas e Ingeniería de Tesis*, (53), 106-121. <https://scielo.pt/pdf/rist/n53/1646-9895-rist-53-106.pdf>