

Tipo de artículo: Artículo original

Plataforma IoT para el monitoreo de parámetros en una agricultura de precisión

IoT platform for monitoring parameters in precision agriculture

Bolívar Ramos Mosquera ^{1*} , <https://orcid.org/0000-0001-9629-06871>

¹ Universidad de Guayaquil. Ecuador. Correo electrónico: bolivar.ramosm@ug.edu.ec

* Autor para correspondencia: bolivar.ramosm@ug.edu.ec

Resumen

Con el desarrollo tecnológico alcanzado por el hombre en la actualidad, se introducen nuevas formas de monitorio y gestión de los procesos. La agricultura representa un área de la ciencia que ha evolucionado para aumentar la productividad y eficiencia de sus procesos. Sin embargo, lograr una adecuada infraestructura que permita adquirir los principales parámetros ambientales representa el elemento fundamental para el desarrollo de una agricultura de precisión. La presente investigación propone una solución a partir del diseño de una plataforma IoT para el monitoreo de parámetros de los cultivos para el desarrollo de una agricultura de precisión. La investigación realiza un análisis de literatura científica relacionado sobre el objeto de estudio que permitió la conceptualización de la propuesta de plataforma. Como resultado se obtuvo la descripción de la plataforma propuesta, la arquitectura del sistema y un análisis de factibilidad sobre el costo de desarrollo de la solución propuesta.

Palabras clave: Agricultura de precisión; IoT ; plataforma; monitorio de parámetros

Abstract

With the technological development achieved by man today, new forms of monitoring and process management are introduced. Agriculture represents an area of science that has evolved to increase the productivity and efficiency of its process. However, achieving an adequate infrastructure that allows acquiring the main environmental parameters represents the fundamental element for the development of precision agriculture. This research proposes a solution based on the design of an IoT platform for monitoring crop parameters for the development of precision agriculture. The research carries out an analysis of scientific literature related to the object of study that allowed the conceptualization of the platform proposal. As a result, a description of the proposed platform, the system architecture and a feasibility analysis of the development cost of the proposed solution were obtained.

Keywords: Precision farming; IoT; platform; parameter monitoring

Recibido: 16/09/2023

Aceptado: 26/11/2023

En línea: 04/12/2023

Introducción

La agricultura en Ecuador ha experimentado una evolución significativa a lo largo de los años. Antes de la llegada de los colonizadores españoles, la agricultura en Ecuador estaba basada en técnicas tradicionales de cultivo, como la



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional**
(CC BY 4.0)

rotación de cultivos y el uso de terrazas para la siembra (Viera-Arroyo et al., 2020). Con la colonización, se introdujeron nuevos cultivos, como el maíz, la papa y el cacao, que se convirtieron en parte fundamental de la agricultura ecuatoriana.

Durante el siglo XIX, la agricultura en Ecuador experimentó un cambio significativo con la expansión de los cultivos comerciales, como el café y el banano (Parada-Gutiérrez & Veloz-Cordero, 2021). Estos cultivos se convirtieron en los principales productos de exportación del país y contribuyeron en gran medida a la economía ecuatoriana. Sin embargo, esta dependencia de los cultivos comerciales también llevó a problemas como la deforestación y la pérdida de biodiversidad (Valarezo Beltrón et al., 2020).

En las últimas décadas, la agricultura en Ecuador ha experimentado una transición hacia prácticas más sostenibles y tecnológicamente avanzadas. Se ha promovido el uso de técnicas de agricultura orgánica y agroecología, así como la implementación de sistemas de riego más eficientes y sostenibles. Además, se ha fomentado la diversificación de cultivos y la promoción de productos locales para reducir la dependencia de los cultivos comerciales (Haro-Altamirano et al., 2021).

La introducción de tecnologías avanzadas, como la agricultura de precisión, también ha comenzado a desempeñar un papel importante en la agricultura ecuatoriana. Los agricultores están utilizando sistemas de información geográfica, drones y sensores remotos para optimizar el rendimiento de sus cultivos y reducir el impacto ambiental. Estas tecnologías están permitiendo a los agricultores monitorear y controlar cada aspecto del proceso de cultivo, lo que está mejorando la productividad y la sostenibilidad de la agricultura en Ecuador (Briones et al., 2021), Moreno-Miranda et al., 2020).

La agricultura de precisión es una práctica que ha revolucionado la forma en que se cultiva la tierra y se manejan los cultivos (Cisternas et al., 2020). Esta técnica se basa en el uso de tecnologías avanzadas, como GPS, sensores remotos, drones y sistemas de información geográfica, para optimizar el rendimiento de los cultivos y reducir al mínimo el impacto ambiental (Bolfe et al., 2020).

La agricultura de precisión permite a los agricultores monitorear y controlar cada aspecto del proceso de cultivo, desde la siembra hasta la cosecha. Con la ayuda de la tecnología, los agricultores pueden identificar y responder a las necesidades específicas de cada parte de su campo, lo que les permite maximizar el rendimiento y minimizar el desperdicio de recursos (Duran, 2023).

Una de las principales ventajas de la agricultura de precisión es su capacidad para reducir el uso de insumos agrícolas, como fertilizantes y pesticidas. Al utilizar datos precisos sobre las condiciones del suelo y las necesidades de los



cultivos, los agricultores pueden aplicar estos insumos de manera más eficiente, lo que no solo reduce los costos, sino que también disminuye el impacto ambiental (Sott et al., 2020).

Otra ventaja importante de la agricultura de precisión es su capacidad para mejorar la calidad de los cultivos. Al monitorear de cerca las condiciones del suelo y del clima, los agricultores pueden ajustar sus prácticas de cultivo para garantizar que sus productos sean más consistentes en términos de tamaño, sabor y valor nutricional (Tittonell, 2019). Además, la agricultura de precisión también puede ayudar a reducir la erosión del suelo y la contaminación del agua al minimizar el exceso de aplicación de insumos agrícolas (Moreno-Miranda et al., 2020). Al aplicar estos insumos solo donde y cuando sea necesario, los agricultores pueden proteger la salud del suelo y del agua en sus campos (T Chirinos et al., 2020).

Con la evolución de las tecnologías, se han creado sistemas de monitoreo automático que permiten el control sistemático de los datos en los cultivos, y generan notificaciones de alerta cuando se identifican variaciones en los niveles de calidad preestablecidos. Problemas de este tipo han sido abortados a partir de las infraestructuras IoT, empleadas para encontrar condiciones ideales del ambiente donde los cultivos se den satisfactoriamente.

A partir del análisis antes expuesto la presente investigación tiene como objetivo desarrollar una plataforma IoT para el monitoreo de parámetros en una agricultura de precisión. La investigación se encuentra estructurada en introducción; materiales y métodos; resultados y discusión. La introducción describió los principales elementos que caracterizan la evolución de la agricultura ecuatoriana, se realiza una caracterización del desarrollo tecnológico que sustentó el desarrollo de la agricultura de precisión. Los materiales y métodos realizan una descripción bibliográfica de las principales soluciones referidas en la literatura científica sobre el objeto de estudio. Los resultados y discusiones presentan la arquitectura de la solución propuesta, se realiza un análisis de la eficiencia del sistema así como un análisis de factibilidad.

Materiales y métodos

La presente investigación está orientada hacia el desarrollo de una plataforma IoT para el monitoreo de parámetros en una agricultura de precisión. Se realizó un mapeo sistemático de la literatura científica sobre el objeto de estudio de la investigación donde se emplearon las fuentes de datos IEEE, Scielo, Scopus y la Thomson Reuters. Los buscadores utilizados fueron Science Research, Semantic Scholar, Google scholar, Science Direct e IEEE Xplore Digital Library. Como parte de la definición del protocolo se determina la pregunta de investigación. El estudio se enfoca en responder la siguiente pregunta de investigación ¿Es viable la implementación de una plataforma IoT para el monitoreo de parámetros en una agricultura de precisión?



Los criterios de inclusión o exclusión permiten extraer las posibles referencias de estudios primarios sobre el tema. Los criterios de selección definidos, garantizan que exista una coherencia armónica entre el tema de estudio y la pregunta de investigación definida. El mapeo realizado permite la identificación de tendencia relacionados sobre las investigaciones. El período de búsqueda estuvo comprendido en los últimos 5 años entre 2019-2023. Para la selección de estudios primarios se consideraron los siguientes criterios de inclusión:

- Toda publicación científica relacionada con IoT en cuya estructura se realice análisis y discusiones en el tratamiento eficiente de los datos en la agricultura.
- Se incluyeron estudios cuantitativos y cualitativos y por la comunidad científica.
- Se tomaron en cuenta fuentes de información en idiomas inglés y español.

Se tuvieron en cuenta los siguientes criterios de exclusión:

- Se excluyeron todos aquellos estudios sin revisiones por pares, los artículos sin diseño de investigación y opiniones de expertos (*position paper*) que no presentan evidencias.

La cadena fundamental de búsqueda utilizada en la base de datos fue: ((IoT AND Agricultura de precisión) OR (*Precision farming* OR Internet of things)).

Para identificar los trabajos primarios se realizaron filtros de: revisión de títulos, revisión de resumen o abstract. Las publicaciones que cumplieron con los criterios de filtrado se consideraron para su lectura y análisis de su contenido. Una vez aplicado los criterios de exclusión e inclusión se realiza la concatenación de resultados de los posibles términos de búsquedas. Se obtiene un total de 324 trabajos de los cuales 30 cumplen con los criterios de inclusión y exclusión definidos relacionados con el tema de investigación. El mapeo sistemático permite obtener una vista de los estudios primarios. La Figura 1 muestra una vista completa del mapeo realizado en la forma de un gráfico de burbuja. Se clasifican los trabajos primarios según los criterios de análisis establecidos anteriormente.

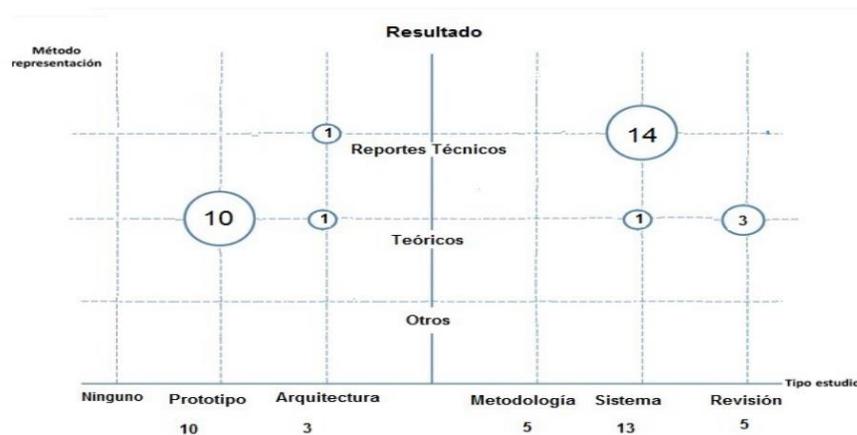


Figura 1. Gráfico de burbujas del mapeo sistemático.

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 1 muestra un resumen con los trabajos identificados en el mapeo realizado. Se relaciona el origen de la información, el tipo de estudio y el resultado aportado con las referencias que avalan el aporte.

Tabla 1: Principales trabajos primarios identificados.

No	Estudio	Año	Tipo de estudio	Resultado
1	(Cisternas et al., 2020)	2020	Teórico	Revisión
2	(Capraro et al., 2022)	2022	Reporte técnico	Sistema
3	(Vieira et al., 2018)	2018	Reporte técnico	Sistema
4	(Belwalkar et al., 2021)	2021	Reporte técnico	Prototipo
5	(Lloret et al., 2021)	2021	Reporte técnico	Sistema
6	(Wang et al., 2021)	2021	Reporte técnico	Sistema
7	(Raya-Sereno et al., 2022)	2022	Reporte técnico	Sistema
8	(Chukkapalli et al., 2020)	2020	Teórico	Metodología
9	(LeVoir et al., 2020)	2020	Teórico	Prototipo
10	(Pini et al., 2020)	2020	Reporte técnico	Prototipo
11	(Ünal, 2020)	2020	Reporte técnico	Sistema
12	(Alfred et al., 2021)	2021	Teórico	Prototipo
13	(Bhat & Huang, 2021)	2021	Reporte técnico	Sistema
14	(Jaihuni et al., 2021)	2021	Reporte técnico	Prototipo
15	(Sharma et al., 2021)	2021	Teórico	Revisión
16	(Singh et al., 2021)	2021	Reporte técnico	Sistema
17	(Condran et al., 2022)	2022	Teórico	Metodología
18	(Gu et al., 2022)	2022	Teórico	Metodología
19	(Panjaitan et al., 2022)	2022	Reporte técnico	Prototipo
20	(Patrizi et al., 2022)	2022	Reporte técnico	Sistema
21	(Qin et al., 2022)	2022	Reporte técnico	Prototipo
22	(Yousefi et al., 2022)	2022	Reporte técnico	Prototipo
23	(Yu et al., 2022)	2022	Reporte técnico	Prototipo
24	(Alotaibi et al., 2023)	2023	Teórico	Revisión
25	(Alshahrani et al., 2023)	2023	Reporte técnico	Prototipo
26	(Casella et al., 2023)	2023	Reporte técnico	Sistema
27	(Feng et al., 2023)	2023	Reporte técnico	Sistema
28	(Mukhamediev et al., 2023)	2023	Reporte técnico	Sistema
29	(Wang et al., 2023)	2023	Reporte técnico	Sistema
30	(Zou et al., 2023)	2023	Reporte técnico	Sistema

Resultados y discusión

La presente sección realiza una descripción de los principales resultados obtenidos. Se realiza una representación de los diferentes conceptos que están presentes en el proceso que se modela a partir de un modelo conceptual. Se realiza



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional** (CC BY 4.0)

una descripción de la propuesta de arquitectura IoT para el ambiente acuático y es realizado un análisis de factibilidad de la infraestructura tecnológica definida.

Identificación de las principales arquitecturas IoT

La revisión bibliográfica evidencia que los avances en las tecnologías de la comunicación han allanado el camino para entornos ambientales donde la mayoría de los dispositivos electrónicos pueden conectarse a redes ubicuas para el monitoreo y recolección de datos. Las principales arquitecturas identificadas se estructuran en un modelo de referencia de 4 capas: Aplicación, Servicio, Red y Física. La figura 2 muestra una representación de la arquitectura en 4 capas analizada para el desarrollo de la plataforma IoT para el monitoreo de parámetros en una agricultura de precisión.

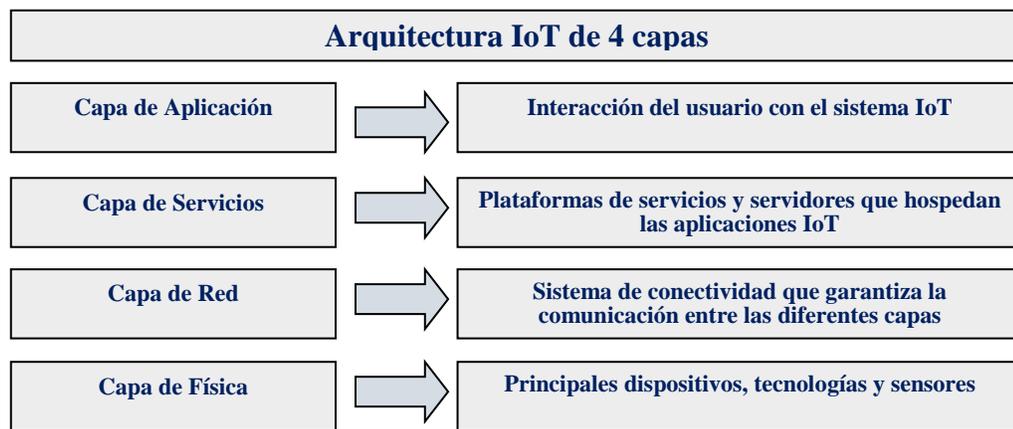


Figura 2: Arquitectura IoT de cuatro capas.

Métodos

Datos a evaluar: Indicadores del ambiente.

Indicadores del ambiente: Temperatura, humedad, iluminación, oxigenación.

Dispositivos a considerar: Sensores de temperatura, sensores de humedad, sensores iluminación, sensores de luz, oxígeno ambiental.

Alcance para la propuesta:

- Encargado de la gestión de la información ambiental.
- Medición de los parámetros ambientales.
- Proponer una infraestructura de IoT para el intercambio de datos ambientales.
- Arquitectura de 4 capas.
- Se visualizan las informaciones que apoyan a los usuarios en la toma de decisiones.



- Se utiliza proveedores para el almacenamiento en la nube que regulan la velocidad de procesamiento e intercambio de información.

Características y consideraciones:

- Se implementará un sistema de medición de las variables ambientales cada 10 minutos.
- Cada sensor enviará una cantidad de información no superior a los 8 bytes de datos por segundo.
- Dispositivos de bajo consumo de energía de 2.4 GHz
- Protocolo de comunicación: TCP / IP, la velocidad de transferencia de dato es 100 Mbps.

Modelo Conceptual de la plataforma IoT para el monitoreo de parámetros en una agricultura de precisión

Un modelo conceptual ofrece una representación de los diferentes conceptos que intervienen en un proceso. La figura 3 muestra una representación del proceso productivo de acuicultura mediante un modelo.

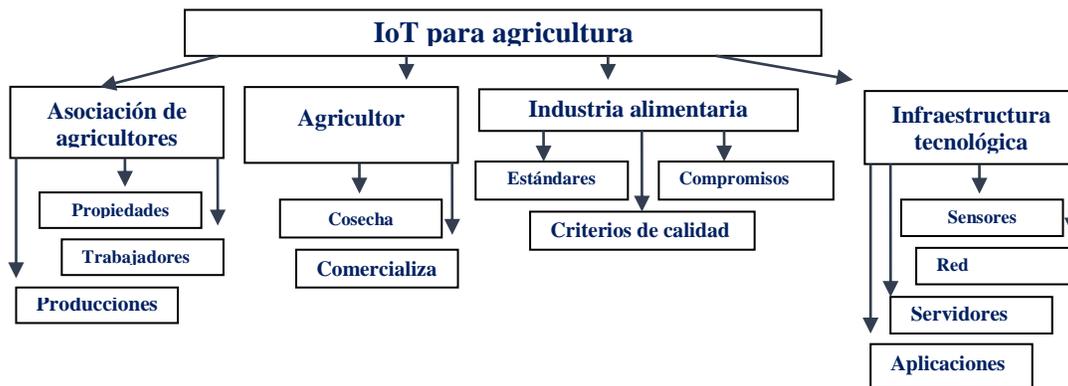


Figura 3: Representación de un modelo conceptual para el monitoreo de parámetros en una agricultura de precisión.

La figura 3 muestra una representación de los conceptos asociados al dominio del problema que se modela. El modelo presenta las principales entidades que interactúan en el monitoreo de parámetros en una agricultura de precisión apoyado en IoT para la captura y procesamiento de los valores obtenidos.

El modelo conceptual inicia con la representación de la entidad Asociación de Agricultores que agrupa al conjunto de agricultores. La entidad se encarga de definir y controlar los derechos, deberes y beneficios en un proceso agrícola.

El agricultor representa el principal actor del negocio, es el encargado de realizar las cosechas derivadas del proceso agrícola. Controla la correcta ejecución del proceso, mantiene la cadena de producción constante y evalúa constantemente los parámetros o variables de calidad que favorecen la producción.

La entidad desarrolladores de tecnologías son los encargados de desarrollar, comercializar y proveer los medios técnicos necesarios para la implementación de un proceso agrícola.



La entidad infraestructura tecnológica es la encargada de garantizar la red de sensores que integra el sistema de medición necesario para el monitoreo de los parámetros técnicos del medio ambiente. Representa la infraestructura de red que interconectan las diferentes capas de una arquitectura de IoT. Se definen los principales proveedores de servicios que soportan las aplicaciones que son utilizados por los usuarios finales.

Arquitectura propuesta para la infraestructura de IoT para el monitoreo de parámetros en una agricultura de precisión

La arquitectura propuesta se basó en los modelos de referencias de 4 capas para las infraestructuras de IoT que garantiza la gestión eficaz del sistema de medición utilizado para la obtención de los datos en un ambiente acuático. La figura 4 muestra una representación de la arquitectura propuesta.

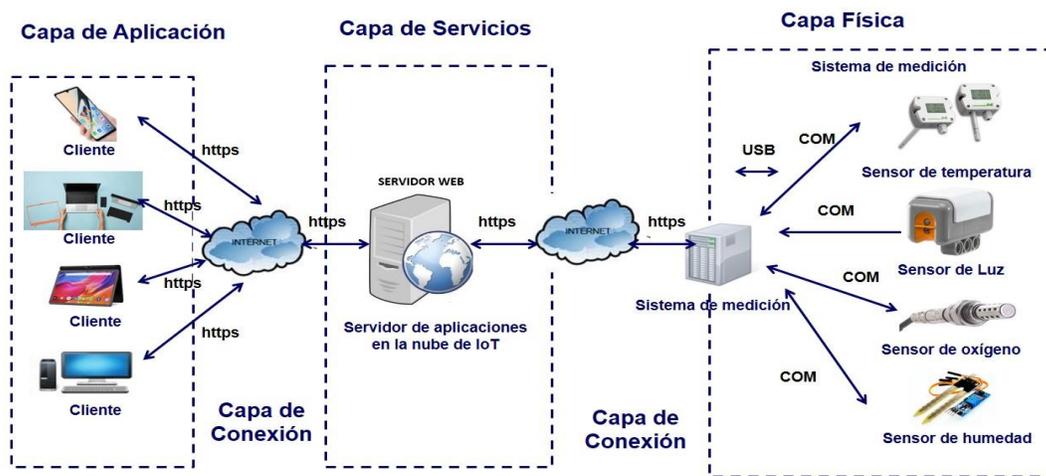


Figura 4: Arquitectura de IoT para el monitoreo de parámetros en una agricultura de precisión.

Capa Física: representa el sistema de medición utilizado para obtener los parámetros del medio ambiente. Se compone por el conjunto de sensores de temperatura, humedad, luz, que brindan los parámetros necesarios para lograr un adecuado clima para el crecimiento de las plantas; cada sensor realiza una lectura de los datos sobre las diferentes condiciones del medio ambiente.

Capa de Conexión: agrupa todos los dispositivos de interconexión físicos y lógicos que garantizan la transferencia de los datos obtenidos en el sistema de medición de los sensores hacia la capa de servicio utilizándose a internet.

Capa de servicios: ofrece los principales proveedores de servicio de IoT, sistemas gestores de bases de datos y servidores de aplicaciones dedicados. A partir de los datos generados en el sistema de medición de los sensores estos se envía hacia la capa de servicio mediante la capa de conexión. Cada dato es almacenado por los repositorios creados para este fin; esta capa facilita la información sobre las variables ambientales.



Capa de aplicación: constituye la capa que interactúa directamente con los usuarios. Representa una interfaz web que puede ser visualizada mediante un ordenador, móvil u otro dispositivo para obtener los datos generados en el sistema de medición. En esta capa se generan informes, estadísticas y gráficas de comportamientos. El monitorio continuo garantiza las informaciones necesarias para apoyar la toma de decisiones sobre el proceso agrícola. El usuario encargado del control del proceso puede tener el comportamiento en tiempo real de las variables ambientales: Temperatura, humedad, luz, oxígeno.

Análisis de eficiencia de la arquitectura de IoT propuesta para el monitoreo de parámetros en una agricultura de precisión

Un indicador al que se le concede especial atención lo representa la eficiencia de la arquitectura. A partir de la ecuación (1) se determina el rendimiento promedio de la arquitectura a partir de un proceso de simulación.

$$P = 100 - \frac{1}{\frac{(Vt / bps) / 100000}{\sqrt{(St - Sn) * At * Su}}} \quad (1)$$

Donde:

P = la eficiencia o rendimiento de la arquitectura;

St = cantidad de sensores para recolección de datos;

Sn = cantidad de sensores no válidos;

At = cantidad de áreas donde se ubican los sensores;

Su = cantidad de sesiones de usuarios;

Vt = velocidad promedio de transmisión es 100 Mbps;

bps = 8 bytes por segundo

La simulación contó con 32 sensores a partir de la cual se logró un rendimiento para la arquitectura de un 96.87 %; el valor menos favorable determinado en la simulación correspondió con un 81.25 %. Los procesos de simulación garantizaron que la arquitectura mantiene estable y con buen rendimiento.

Propuesta de factibilidad de la infraestructura

Económica: son los costos que nos representará la elaboración del proyecto.

Tabla 2. Hardware de conexión IoT.

Materiales	Precio
------------	--------



Antena con Wifi de largo alcance	219.00
Sensor para medir temperatura	25.00
Sensor para medir humedad	40.00
Torre telescópica de aluminio, mástil de 10 metros	1097.00
Punto de acceso de red	289.99
Router	194.99
Sitio web	500.00
Aplicación para dispositivos móviles	500.00
Almacenamiento en la nube	59.99
Internet inalámbrico	30.00
Total	\$2955.97

Los precios fueron tomados de alibaba.com el 10 de agosto del 2023.

Requerimientos técnicos:

- Especificaciones de Hardware: El servidor de aplicaciones en la nube debe tener: un Procesador con una velocidad de procesamiento igual o superior a 1 Ghz una memoria operativa destinada al proceso igual o superior a los 4 Gb, una capacidad de almacenamiento de 40 GB.
- Especificaciones del software: Sistema Operativo Linux Red Hat 9.03 (para el servidor), Java versión 8 o superior.

Conclusiones

Como alternativa de factibilidad para el monitoreo sistemático de los parámetros para el monitoreo de variables ambientales, se identificó como factible la implementación de una infraestructura IoT para el monitoreo de parámetros en una agricultura de precisión.

A través de la IoT se puede recolectar información que permite a los agricultores conocer los datos concretos de parámetros como temperatura, humedad, oxígeno, intensidad de la luz entre otros que permiten la toma de decisiones oportuna para mejorar el rendimiento y productividad de las cosechas.

Para determinar la factibilidad de la propuesta de implementación de plataforma de IoT para el monitoreo de parámetros en una agricultura de precisión se realizó una valoración sobre el rendimiento del sistema, el costo de producción donde se consideró que es factible.

Conflictos de intereses

Los autores no poseen conflictos de intereses.



Contribución de los autores

1. Conceptualización: Bolívar Ramos Mosquera
2. Curación de datos: Bolívar Ramos Mosquera
3. Análisis formal: Bolívar Ramos Mosquera
4. Investigación: Bolívar Ramos Mosquera
5. Metodología: Bolívar Ramos Mosquera
6. Software: Bolívar Ramos Mosquera
7. Validación: Bolívar Ramos Mosquera
8. Visualización: Bolívar Ramos Mosquera
9. Redacción – borrador original: Bolívar Ramos Mosquera
10. Redacción – revisión y edición: Bolívar Ramos Mosquera

Financiamiento

La investigación fue financiada por los autores.

Referencias

- Alfred, R., Obid, J. H., Chin, C. P. Y., Haviluddin, H., & Lim, Y. (2021). Towards Paddy Rice Smart Farming: A Review on Big Data, Machine Learning, and Rice Production Tasks. *IEEE Access*, *9*, 50358-50380. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3069449>
- Alotaibi, M., Murad, M., Tasadduq, I. A., Alhuthali, S. A. H., Al-Osaimi, F. R., Aldosari, F., & Rushdi, A. M. (2023). Anti-Collision Algorithm for Identification in Precision Agriculture Applications. *IEEE Access*, *11*, 130197-130205. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3334636>
- Alshahrani, H., Alkahtani, H. K., Mahmood, K., Alymani, M., Mohammed, G. P., Abdelmageed, A. A., Abdelbagi, S., & Drar, S. (2023). Chaotic Jaya Optimization Algorithm With Computer Vision-Based Soil Type Classification for Smart Farming. *IEEE Access*, *11*, 65849-65857. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3288814>
- Belwalkar, A., Poblete, T., Longmire, A., Hornero, A., & Zarco-Tejada, P. J. (2021, 11-16 July 2021). Comparing the Retrieval of Chlorophyll Fluorescence from Two Airborne Hyperspectral Imagers with Different Spectral



- Resolutions for Plant Phenotyping Studies. 2021 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS,
- Bhat, S. A., & Huang, N. F. (2021). Big Data and AI Revolution in Precision Agriculture: Survey and Challenges. *IEEE Access*, 9, 110209-110222. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3102227>
- Bolfe, É. L., Jorge, L. A. d. C., Sanches, I. D. A., Luchiari Júnior, A., da Costa, C. C., Victoria, D. d. C., Inamasu, R. Y., Grego, C. R., Ferreira, V. R., & Ramirez, A. R. (2020). Precision and digital agriculture: Adoption of technologies and perception of Brazilian farmers. *Agriculture*, 10(12), 653. <https://www.mdpi.com/2077-0472/10/12/653/pdf>
- Briones, H. B. E., Muñoz, W. L. C., Patiño, H. M. C., & Moreira, M. F. T. (2021). Saberes ancestrales: una revisión para fomentar el rescate y revalorización en las comunidades indígenas del Ecuador. *Journal of Science and Research: Revista Ciencia e Investigación*, 6(3), 112-128. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/8168767.pdf>
- Capraro, F., Pacheco, D., Pugliese, B., Gimenez, F., & Infante, S. (2022, 7-9 Sept. 2022). Uso de imagenes multiespectrales y termográficas para caracterizar el estado de un viñedo. 2022 IEEE Biennial Congress of Argentina (ARGENCON),
- Casella, E., Cantor, M. C., Setser, M. M. W., Silvestri, S., & Costa, J. H. C. (2023). A Machine Learning and Optimization Framework for the Early Diagnosis of Bovine Respiratory Disease. *IEEE Access*, 11, 71164-71179. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3291348>
- Cisternas, I., Velásquez, I., Caro, A., & Rodríguez, A. (2020). Systematic literature review of implementations of precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 176, 105626. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169920312357>
- Condran, S., Bewong, M., Islam, M. Z., Maphosa, L., & Zheng, L. (2022). Machine Learning in Precision Agriculture: A Survey on Trends, Applications and Evaluations Over Two Decades. *IEEE Access*, 10, 73786-73803. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3188649>
- Chukkapalli, S. S. L., Mittal, S., Gupta, M., Abdelsalam, M., Joshi, A., Sandhu, R., & Joshi, K. (2020). Ontologies and Artificial Intelligence Systems for the Cooperative Smart Farming Ecosystem. *IEEE Access*, 8, 164045-164064. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3022763>
- Duran, J. H. M. (2023). Energía solar en la agricultura: un estudio de caso de la parroquia de Majúa, Ecuador. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(1), 14427-14440. <https://www.ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/download/6144/9326>



- Feng, W., Wang, K., & Zhou, S. (2023). An Efficient Neural Network for Pig Counting and Localization by Density Map Estimation. *IEEE Access*, *11*, 81079-81091. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3297141>
- Gu, J., Lan, Y., Kong, F., Liu, L., & Yi, L. (2022). Setting Method of Downsampling Factor and Grid Factor for NDT Relocation Algorithm in Dynamic Environment. *IEEE Access*, *10*, 130264-130272. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3227967>
- Haro-Altamirano, J. P., Soplín-Villacorta, H., Alegre-Orihuela, J., Blas-Sevillano, R. H., & Bravo, O. (2021). Tipificación de los Sistemas Productivos de Agricultura Familiar Cantón Penipe, Chimborazo, Ecuador. *Polo del Conocimiento*, *6*(12), 1398-1410. <https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/download/3447/7763>
- Jaihuni, M., Khan, F., Lee, D., Basak, J. K., Bhujel, A., Moon, B. E., Park, J., & Kim, H. T. (2021). Determining Spatiotemporal Distribution of Macronutrients in a Cornfield Using Remote Sensing and a Deep Learning Model. *IEEE Access*, *9*, 30256-30266. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3059314>
- LeVoir, S. J., Farley, P. A., Sun, T., & Xu, C. (2020). High-Accuracy Adaptive Low-Cost Location Sensing Subsystems for Autonomous Rover in Precision Agriculture. *IEEE Open Journal of Industry Applications*, *1*, 74-94. <https://doi.org/10.1109/OJIA.2020.3015253>
- Lloret, J., García, L., Jimenez, J. M., Sendra, S., & Lorenz, P. (2021). Cluster-Based Communication Protocol and Architecture for a Wastewater Purification System Intended for Irrigation. *IEEE Access*, *9*, 142374-142389. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3119757>
- Moreno-Miranda, C., Pilamala, A., Moreno-Miranda, R., Molina, J. I., Cerda-Mejía, L., & Rama, D. (2020). Análisis de las dimensiones sociales, productivas y de gobernanza de la cadena de Physalis peruviana: un estudio de caso de la zona interandina en Ecuador. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, *21*(2).
- Mukhamediev, R. I., Yakunin, K., Aubakirov, M., Assanov, I., Kuchin, Y., Symagulov, A., Levashenko, V., Zaitseva, E., Sokolov, D., & Amirgaliyev, Y. (2023). Coverage Path Planning Optimization of Heterogeneous UAVs Group for Precision Agriculture. *IEEE Access*, *11*, 5789-5803. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3235207>
- Panjaitan, S. D., Dewi, Y. S. K., Hendri, M. I., Wicaksono, R. A., & Priyatman, H. (2022). A Drone Technology Implementation Approach to Conventional Paddy Fields Application. *IEEE Access*, *10*, 120650-120658. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3221188>



- Parada-Gutiérrez, O., & Veloz-Cordero, R. L. (2021). Análisis socioeconómico de productores de cacao, localidad Guabito, provincia Los Ríos, Ecuador. *Ciencias Holguín*, 27(1), 1-17. <https://www.redalyc.org/journal/1815/181565709001/181565709001.pdf>
- Patrizi, G., Bartolini, A., Ciani, L., Gallo, V., Sommella, P., & Carratù, M. (2022). A Virtual Soil Moisture Sensor for Smart Farming Using Deep Learning. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 71, 1-11. <https://doi.org/10.1109/TIM.2022.3196446>
- Pini, M., Marucco, G., Falco, G., Nicola, M., & Wilde, W. D. (2020). Experimental Testbed and Methodology for the Assessment of RTK GNSS Receivers Used in Precision Agriculture. *IEEE Access*, 8, 14690-14703. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2965741>
- Qin, G., Wang, S., Wang, F., Zhou, Y., Wang, Z., & Zou, W. (2022). U_EFF_NET: High-Precision Segmentation of Offshore Farms From High-Resolution SAR Remote Sensing Images. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 15, 8519-8528. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2022.3208185>
- Raya-Sereno, M. D., Alonso-Ayuso, M., Pancorbo, J. L., Gabriel, J. L., Camino, C., Zarco-Tejada, P. J., & Quemada, M. (2022). Residual Effect and N Fertilizer Rate Detection by High-Resolution VNIR-SWIR Hyperspectral Imagery and Solar-Induced Chlorophyll Fluorescence in Wheat. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 60, 1-17. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2021.3099624>
- Sharma, A., Jain, A., Gupta, P., & Chowdary, V. (2021). Machine Learning Applications for Precision Agriculture: A Comprehensive Review. *IEEE Access*, 9, 4843-4873. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3048415>
- Singh, R. K., Berkvens, R., & Weyn, M. (2021). AgriFusion: An Architecture for IoT and Emerging Technologies Based on a Precision Agriculture Survey. *IEEE Access*, 9, 136253-136283. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3116814>
- Sott, M. K., Furstenu, L. B., Kipper, L. M., Giraldo, F. D., Lopez-Robles, J. R., Cobo, M. J., Zahid, A., Abbasi, Q. H., & Imran, M. A. (2020). Precision techniques and agriculture 4.0 technologies to promote sustainability in the coffee sector: state of the art, challenges and future trends. *IEEE Access*, 8, 149854-149867. <https://ieeexplore.ieee.org/iel7/6287639/8948470/09166468.pdf>
- T Chirinos, D., Castro, R., Cun, J., Castro, J., Peñarrieta Bravo, S., Solis, L., & Geraud-Pouey, F. (2020). Los insecticidas y el control de plagas agrícolas: la magnitud de su uso en cultivos de algunas provincias de Ecuador. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 21(1), 84-99. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0122-87062020000100084&script=sci_arttext



- Tittonell, P. (2019). Las transiciones agroecológicas: múltiples escalas, niveles y desafíos. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo*, 51(1), 231-246.
http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1853-86652019000100017&script=sci_arttext
- Ünal, Z. (2020). Smart Farming Becomes Even Smarter With Deep Learning—A Bibliographical Analysis. *IEEE Access*, 8, 105587-105609. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3000175>
- Valarezo Beltrón, C. O., Julca-Otiniano, A., & Rodríguez Berrío, A. (2020). Evaluación de la sustentabilidad de fincas productoras de limón en Portoviejo, Ecuador. *Rivar (Santiago)*, 7(20), 108-120.
https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0719-49942020000200108&script=sci_arttext
- Vieira, R. G., Cunha, A. M. d., Ruiz, L. B., & Camargo, A. P. d. (2018). On the Design of a Long Range WSN for Precision Irrigation. *IEEE Sensors Journal*, 18(2), 773-780. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2017.2776859>
- Viera-Arroyo, W. F., Tello-Torres, C. M., Martínez-Salinas, A. A., Navia-Santillán, D. F., Medina-Rivera, L. A., Delgado-Párraga, A. G., Perdomo-Quispe, C. E., Pincay-Verdezoto, A. K., Báez-Cevallos, F. J., & Vásquez-Castillo, W. A. (2020). Control Biológico: Una herramienta para una agricultura sustentable, un punto de vista de sus beneficios en Ecuador. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 8(2), 128-149.
http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2308-38592020000200006&script=sci_arttext
- Wang, B., Yan, Y., Lan, Y., Wang, M., & Bian, Z. (2023). Accurate Detection and Precision Spraying of Corn and Weeds Using the Improved YOLOv5 Model. *IEEE Access*, 11, 29868-29882.
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3258439>
- Wang, Y., Suarez, L., Qian, X., Pobleto, T., Gonzalez-Dugo, V., Ryu, D., & Zarco-Tejada, P. J. (2021, 11-16 July 2021). Assessing the Contribution of Airborne-Retrieved Chlorophyll Fluorescence for Nitrogen Assessment in Almond Orchards. 2021 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS,
- Yousefi, D. B. M., Rafie, A. S. M., Al-Haddad, S. A. R., & Azrad, S. (2022). A Systematic Literature Review on the Use of Deep Learning in Precision Livestock Detection and Localization Using Unmanned Aerial Vehicles. *IEEE Access*, 10, 80071-80091. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3194507>
- Yu, C., Liu, Y., Xia, X., Lan, D., Liu, X., & Wu, S. (2022). Precise and Fast Segmentation of Offshore Farms in High-Resolution SAR Images Based on Model Fusion and Half-Precision Parallel Inference. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 15, 4861-4872.
<https://doi.org/10.1109/JSTARS.2022.3181355>



Zou, M., Wang, Y., Zhao, C., Xu, J., Guo, X., & Sun, X. (2023). Integrated Equivalent Model of Permanent Magnet Synchronous Generator Based Wind Turbine for Large-scale Offshore Wind Farm Simulation. *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*, 11(5), 1415-1426. <https://doi.org/10.35833/MPCE.2022.000495>



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional**
(CC BY 4.0)