

# Kantu Warmi: An Environmental Monitoring and Thermal Control Device for Protecting Potato Crops in Rural Agricultural Environments

Brenda Cabrera<sup>1</sup>; Consuelo Cano<sup>2</sup>; Marco Benites<sup>3</sup>

<sup>1,3</sup>Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Peru, [u202114655@upc.edu.pe](mailto:u202114655@upc.edu.pe), [pcdsmben@upc.edu.pe](mailto:pcdsmben@upc.edu.pe)

<sup>2</sup>Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Peru, [pcdsccan@upc.edu.pe](mailto:pcdsccan@upc.edu.pe)

*Abstract– This paper presents the design of Kantu Warmi, a device aimed at environmental monitoring and support for thermal control in high-Andean agricultural contexts, focused on potato cultivation in the Puno region. In these areas, sudden temperature drops frequently affect early crop stages, increasing the risk of yield losses and the economic vulnerability of small- and medium-scale farmers. To address this challenge, the proposed system consists of a thermal module capable of measuring and displaying ambient temperature, as well as activating a heat-generation mechanism when conditions fall below crop-specific critical thresholds. The design prioritizes information legibility, resistance to adverse environmental conditions, ground stability, and proper integration within the agricultural plot, enabling direct installation and continuous operation. The applied methodology integrates: (i) contextual research and user characterization, (ii) definition of design requirements and system architecture, and (iii) prototyping and functional validation through tests in controlled environments and field scenarios. Experimental results confirmed the correct response of the sensing system, activation of the thermal element, and user comprehension of the signaling interface. The study concludes that Kantu Warmi constitutes a supportive tool for agricultural decision-making in response to low-temperature events, highlighting the contribution of industrial design to the development of functional, accessible, and context-specific solutions for rural environments.*

**Keywords--** Industrial Design, High-Andean Agriculture, Potato Crops, Thermal Monitoring Systems, Cold Stress

# Kantu Warmi: dispositivo de monitoreo ambiental y control térmico para la protección del cultivo de papa en contextos agrícolas rurales

Brenda Cabrera<sup>1</sup>; Consuelo Cano<sup>2</sup>; Marco Benites<sup>3</sup>

<sup>1,3</sup>Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Peru, [u202114655@upc.edu.pe](mailto:u202114655@upc.edu.pe), [pcdsmben@upc.edu.pe](mailto:pcdsmben@upc.edu.pe)

<sup>2</sup>Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Peru, [pcdsccan@upc.edu.pe](mailto:pcdsccan@upc.edu.pe)

**Resumen—** El presente trabajo aborda el diseño de Kantu Warmi, un dispositivo orientado al monitoreo ambiental y apoyo al control térmico en contextos agrícolas altoandinos, enfocado en el cultivo de papa en la región de Puno. En estas zonas, los episodios de descenso brusco de temperatura generan afectaciones recurrentes en las etapas tempranas del cultivo, incrementando el riesgo de pérdidas y la vulnerabilidad económica de productores de pequeña y mediana escala. Como respuesta a esta problemática, se propone el desarrollo de un módulo térmico capaz de medir y visualizar la temperatura ambiente, así como de activar un sistema de generación de calor cuando se detectan condiciones por debajo de rangos críticos definidos para el cultivo. El diseño prioriza la legibilidad de la información, la resistencia a condiciones ambientales adversas, la estabilidad en el terreno y su adecuada integración con la parcela agrícola, facilitando una instalación directa y un uso continuo. La metodología aplicada integra: (i) investigación contextual y caracterización del usuario, (ii) definición de requerimientos de diseño y arquitectura del sistema, y (iii) prototipado y validación funcional mediante pruebas en entornos acondicionados y escenarios de campo. Los ensayos realizados permitieron verificar la correcta respuesta del sistema de sensor, la activación del elemento térmico y la comprensión de la señalización por parte del usuario. Se concluye que el dispositivo constituye una herramienta de apoyo para la toma de decisiones agrícolas frente a eventos de bajas temperaturas, evidenciando el aporte del diseño industrial en el desarrollo de soluciones funcionales, accesibles y contextualizadas para entornos rurales.

**Palabras clave—** Diseño industrial, Agricultura altoandina, Cultivo de papa, Monitoreo térmico, Friaje.

## I. INTRODUCCIÓN

En el Perú el cultivo de papa es una de las principales actividades agrícolas, tiene un aporte en el ámbito alimentario como una gran relevancia económica, representando una fuente clave de ingresos y subsistencia para miles de familias. Dentro de esto, la región de Puno destaca como una de las zonas con mayor producción de papa a nivel nacional [1]. Sin embargo, este cultivo se ve afectado por eventos de heladas y descensos bruscos de temperatura, un fenómeno climático caracterizado por descensos abruptos de temperatura, los cuales inciden de manera crítica en las etapas de desarrollo del cultivo, generando daños severos y, en muchos casos, la pérdida parcial o total de la cosecha [2], [3].

Si bien existen programas estatales de apoyo y distribución de bienes destinados a mitigar los efectos de estos eventos climáticos adversos [4], persisten limitaciones asociadas a la accesibilidad, oportunidad y alcance de dichas

ayudas, especialmente en zonas rurales alejadas. Asimismo, gran parte de las medidas empleadas por los agricultores se basa en prácticas tradicionales que no incorporan herramientas tecnológicas orientadas al monitoreo ambiental ni al control térmico del entorno. En contraste, las soluciones tecnológicas disponibles para la protección térmica agrícola suelen estar diseñadas para contextos de mayor escala productiva, presentando altos costos, elevados requerimientos energéticos o una baja adaptabilidad a las condiciones climáticas y socioculturales del entorno altoandino, lo que restringe su implementación en comunidades rurales.

Frente a esta problemática, el presente trabajo tiene como objetivo general diseñar un módulo térmico dirigido a agricultores de la región de Puno, que contribuya a reducir la pérdida de cultivos de papa ocasionada por eventos de baja temperatura, mediante un dispositivo accesible, resistente y adaptado a las condiciones ambientales del entorno agrícola. Como objetivos específicos, se plantean: (1) analizar las tecnologías existentes y los materiales utilizados para la conservación de calor en contextos agrícolas, (2) desarrollar una propuesta de dispositivo térmico portátil adecuada a las condiciones del contexto rural andino, y (3) asegurar que el sistema sea comprensible e intuitivo para los agricultores, facilitando su uso sin requerir conocimientos técnicos especializados.

## II. MARCO TEÓRICO

El friaje es un fenómeno climático caracterizado por el ingreso de masas de aire frío provenientes de la Antártida, las cuales ingresan al territorio peruano generando precipitaciones intensas y descensos bruscos de temperatura. Este fenómeno afecta principalmente a las regiones amazónicas y altoandinas del país y puede extenderse por varios días consecutivos. En el Perú, se registran aproximadamente entre seis y diez episodios de friaje al año, los cuales generan condiciones climáticas adversas para las actividades productivas, en particular para la agricultura de subsistencia [11]. Estos eventos incrementan la exposición de los cultivos a temperaturas críticas, especialmente durante las noches, cuando se producen descensos térmicos severos.

Las bajas temperaturas asociadas al friaje provocan que la temperatura ambiental y del suelo descienda por debajo de los rangos óptimos para el desarrollo de diversos cultivos. En el caso específico de la papa, temperaturas inferiores a los 10 °C

afectan de manera directa su desarrollo, dado que este cultivo requiere temperaturas superiores a los 15 °C para una adecuada emergencia de tallos y crecimiento de brotes. La exposición prolongada a condiciones térmicas adversas compromete los procesos fisiológicos de la planta, incrementando el riesgo de daños severos, reducción del rendimiento o pérdida total del cultivo [12]. Estudios recientes han demostrado que el cultivo de papa, especialmente en su centro de origen andino, presenta una alta sensibilidad frente a la variabilidad climática y a los eventos extremos de temperatura [7].

Desde una perspectiva más amplia, la literatura científica ha evidenciado que la variabilidad climática y el cambio climático incrementan la vulnerabilidad de los sistemas agrícolas, afectando de manera directa la seguridad alimentaria y la estabilidad económica de las comunidades rurales. En este contexto, se destaca la necesidad de desarrollar estrategias de adaptación que permitan reducir la exposición y sensibilidad de la agricultura frente a eventos climáticos extremos, como las heladas y las olas de frío [6]. Estas estrategias incluyen tanto medidas tecnológicas como enfoques de gestión del riesgo orientados a la prevención y la toma de decisiones informadas.

Frente a este escenario, diversas tecnologías han sido desarrolladas para la protección térmica de los cultivos. Entre ellas, se encuentran los sistemas activos de mitigación de heladas, tales como calefactores, ventiladores, torres antiheladas y sistemas de calefacción de suelo. Documentos técnicos y revisiones especializadas describen los principios físicos y operativos de estas tecnologías, así como sus ventajas y limitaciones en términos de eficiencia, consumo energético y costos de implementación [8], [9]. Si bien estas soluciones han demostrado ser efectivas en contextos de producción agrícola intensiva, su aplicación en entornos rurales de pequeña escala suele verse restringida por su complejidad técnica, requerimientos energéticos elevados y baja adaptabilidad al contexto local.

De manera complementaria, investigaciones recientes han resaltado la importancia de considerar el conocimiento tradicional de los agricultores en el manejo de eventos de heladas y bajas temperaturas. Estudios realizados en comunidades rurales han documentado prácticas empíricas desarrolladas a lo largo del tiempo para proteger los cultivos frente a condiciones climáticas adversas, poniendo en evidencia el valor del contexto cultural y social en el diseño de soluciones tecnológicas apropiadas [10]. Estos enfoques subrayan la necesidad de integrar tecnología y conocimiento local para lograr una mayor aceptación y efectividad de las intervenciones.

En esta línea, se han desarrollado propuestas que integran dispositivos de monitoreo ambiental accesibles, orientados a la gestión preventiva de riesgos climáticos en contextos rurales. Estas soluciones combinan sensores ambientales, sistemas de visualización comprensibles y criterios de adaptación sociocultural, demostrando el potencial del diseño industrial como un articulador entre tecnología, territorio y usuario [5].

Tales antecedentes constituyen un marco de referencia relevante para el desarrollo de dispositivos orientados no solo a la alerta temprana, sino también al control térmico directo del entorno agrícola, ampliando las estrategias de prevención frente a los efectos del friaje en cultivos sensibles como la papa.



Fig. 1 Sistema de calefacción de suelo mediante cable eléctrico que permite mantener una temperatura del suelo óptima para los cultivos.

Frente a estas condiciones climáticas adversas, el control térmico del entorno agrícola se vuelve un factor determinante para la protección y sostenibilidad de los cultivos. Entre las tecnologías disponibles, se encuentran los sistemas de calefacción de suelo mediante cable eléctrico, los cuales permiten mantener la temperatura del suelo dentro de rangos adecuados para el desarrollo de los cultivos. Este tipo de sistema se instala bajo capas del suelo y requiere la incorporación de materiales complementarios, como arena, mallas y capas aislantes, que contribuyen a una adecuada distribución del calor y a la protección del cable calefactor. Una de sus principales características es su funcionamiento automatizado, que reduce la intervención directa del usuario en el control térmico. El sistema regula de manera autónoma la temperatura previamente establecida, activándose cuando el suelo alcanza un umbral mínimo crítico y apagándose al superar el valor máximo definido, lo que permite una disminución gradual de la temperatura y condiciones más estables para el cultivo [13]. Fig. 1.

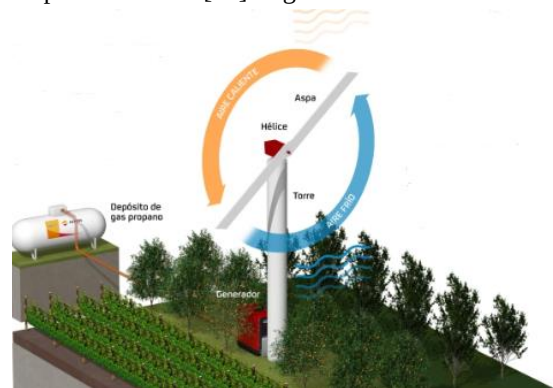


Fig. 2 Sistema de torres antiheladas alimentadas con propano para la reducción del riesgo de heladas y la pérdida de cultivos.

Otra solución ampliamente utilizada corresponde a los sistemas de torres antiheladas, los cuales están compuestos por estructuras verticales equipadas con una hélice en la parte superior y son alimentados mediante depósitos de gas propano y generadores eléctricos. Estos sistemas se activan automáticamente cuando la temperatura desciende por debajo de un umbral definido por el agricultor y funcionan bajo el principio de inversión térmica, desplazando el aire frío acumulado en las capas bajas y redistribuyendo el aire más cálido hacia la superficie del cultivo [14]. Diversos casos documentados reportan una reducción significativa de las pérdidas agrícolas frente a eventos de heladas; sin embargo, su implementación suele estar asociada a altos costos de instalación, operación y consumo energético, lo que limita su uso principalmente a explotaciones agrícolas de mayor escala. Fig. 2.



Fig. 3 Sistema de turbos calefactores para el control de la temperatura de los cultivos dentro de un invernadero.

Finalmente, los sistemas de turbos calefactores constituyen una alternativa tecnológica utilizada principalmente en invernaderos, donde permiten mantener temperaturas estables mediante el calentamiento del aire y su posterior distribución uniforme en el espacio cerrado. Estos dispositivos pueden operar con distintos tipos de combustible y cuentan con termostatos regulables que facilitan el ajuste de la temperatura según las necesidades del cultivo. Su funcionamiento favorece la recirculación constante del aire caliente, contribuyendo a la estabilidad térmica del ambiente [15]. Si bien han demostrado resultados favorables en contextos de producción agrícola intensiva, su tamaño, consumo energético y dependencia de combustibles los posicionan como soluciones de carácter semiindustrial o industrial, con una limitada adaptabilidad a contextos rurales de pequeña escala. Fig. 3.

### III. METODOLOGÍA

#### A. Población

El usuario del proyecto Kantu Warmi corresponde a agricultores de pequeña y mediana escala dedicados al cultivo de papa en la región de Puno, adultos entre 30 y 60 años con experiencia en esta actividad. Desarrollan su trabajo en entornos rurales con condiciones climáticas adversas y recursos limitados, donde la mano de obra es principalmente

familiar. Se prioriza el trabajo con productores de pequeña y mediana escala, cuyas parcelas agrícolas constituyen el principal sustento económico y alimentario de sus familias [1]. Este grupo de usuarios enfrenta de manera recurrente fenómenos meteorológicos adversos, como el friaje y las heladas, que pueden afectar parcial o totalmente el rendimiento de sus cosechas. La selección de este perfil responde a la necesidad de desarrollar una solución tecnológica accesible, comprensible y adaptada a las condiciones reales de uso en contextos rurales altoandinos.

#### B. Referencias

El estudio se desarrolla en la región de Puno, territorio caracterizado por su elevada altitud, amplias zonas abiertas y una marcada variabilidad climática. Estas condiciones propician descensos bruscos de temperatura, especialmente durante los periodos de friaje, fenómeno que impacta de manera directa en las actividades agrícolas de las comunidades rurales [11]. Este evento climático afecta principalmente a los cultivos de papa cuando se encuentran en etapas tempranas de crecimiento y brotación, comprometiendo su desarrollo, resistencia y supervivencia. La situación se ve agravada por las limitadas condiciones de infraestructura, la escasa disponibilidad de recursos tecnológicos y la dificultad de acceso a soluciones especializadas, lo que incrementa la vulnerabilidad de los agricultores frente a las pérdidas ocasionadas por fenómenos climáticos extremos.

#### C. Propuesta de Diseño

La propuesta presenta el diseño conceptual de un módulo térmico orientado a contribuir en la reducción de la pérdida de cultivos de papa frente a descensos bruscos de temperatura. Su configuración formal se inspira en elementos que emergen del suelo agrícola, adoptando una forma compacta, estable y de baja altura, lo que permite su integración directa en la parcela sin interferir con las labores agrícolas. La geometría curva en la parte superior facilita el escurrimiento del agua de lluvia y reduce la resistencia al viento, evitando desplazamientos involuntarios. Asimismo, el diseño incorpora apoyos inferiores que permiten la fijación parcial del módulo en el terreno, garantizando estabilidad y firmeza durante su operación. La selección de materiales responde a criterios de resistencia, durabilidad y adecuación climática, considerando las condiciones propias del entorno altoandino de Puno.



Fig. 4 Propuesta de diseño del dispositivo Kantu Warmi



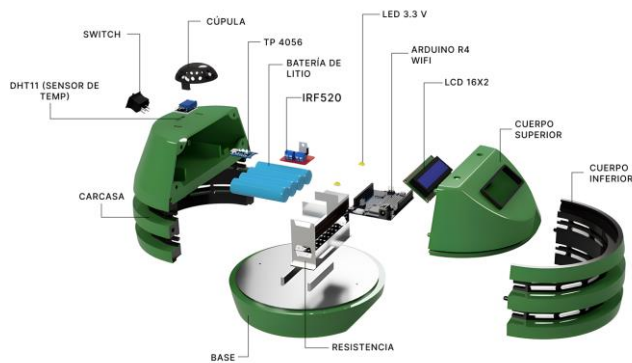


Fig. 5 Partes de Kantu Warmi con sus componentes

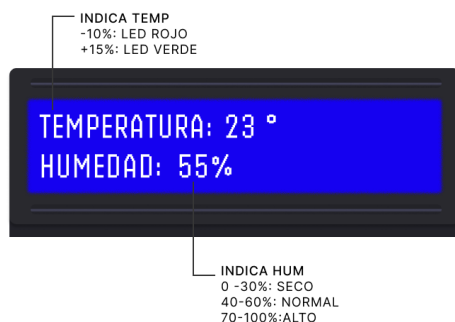


Fig. 6 Interfaz que indica la temperatura y la humedad

A nivel funcional, el dispositivo integra un sensor de temperatura DHT11, ubicado en la parte superior, encargado de medir la temperatura ambiente y compararla con rangos previamente establecidos para el cultivo de papa. La información recolectada se visualiza mediante una pantalla LED, complementada con un sistema de señalización visual a través de dos indicadores luminosos: luz roja cuando la temperatura se encuentra por debajo del rango adecuado y luz verde cuando se mantiene en niveles óptimos. El sistema es controlado por un microcontrolador Arduino R4 WiFi, que gestiona la lectura del sensor y la activación del sistema térmico. La alimentación se realiza mediante cuatro baterías de litio de 3.7 V, conectadas a un módulo de carga simple, lo que facilita su recarga y mantenimiento. Estas baterías suministran energía tanto al sistema electrónico como a una resistencia térmica, encargada de generar el calor necesario para apoyar la protección del cultivo. Ver Figs. 4, 5 y 6.

#### D. Validación

Se realizaron pruebas con el objetivo de validar el funcionamiento de los componentes que integran el módulo bajo las condiciones establecidas para el prototipo. En primer lugar, se llevaron a cabo pruebas del sensor de temperatura DHT11, con la finalidad de verificar la correspondencia entre los valores registrados por el sistema y la temperatura ambiente real. Estos ensayos permitieron comprobar que el

sensor respondía de manera adecuada a las variaciones térmicas del entorno.

Asimismo, se evaluó el comportamiento del sistema de activación térmica, verificando que la resistencia se encendiera cuando la temperatura descendía por debajo del umbral establecido ( $-10^{\circ}\text{C}$ ) y que se desactiva al superar el rango superior definido ( $+15^{\circ}\text{C}$ ). Los resultados obtenidos permitieron descartar fallas en la lectura del sensor y confirmar la correcta detección de las condiciones ambientales necesarias para la activación del sistema.

Adicionalmente, se realizaron pruebas en campos abiertos durante la temporada de invierno, con el fin de observar el desempeño del módulo frente a condiciones climáticas adversas. De manera complementaria, se desarrollaron ensayos en entornos más controlados, simulando el uso del módulo en conjunto con un micro toldo elaborado con materiales accesibles para el agricultor. Estas pruebas permitieron analizar el comportamiento del sistema en distintos escenarios de uso, evaluando su resistencia, funcionamiento general y adaptación a posibles configuraciones de protección adicionales. Fig. 7.



Fig. 7 Prototipo físico

#### IV. RESULTADOS

Los resultados obtenidos a partir del desarrollo del dispositivo de monitoreo térmico Kantu Warmi, evidencia su viabilidad funcional como apoyo frente a las bajas temperaturas que afectan al cultivo de papa. El prototipo cumplió con las funciones planteadas, permitiendo la lectura y visualización de la temperatura ambiente, así como la activación automática del sistema de generación de calor ante descensos térmicos por debajo de los umbrales definidos. Durante las pruebas realizadas, el sistema respondió de manera inmediata a las variaciones de temperatura, sin presentar fallas en la lectura del sensor ni en el encendido del elemento térmico. Figs. 8 y 9.

En relación con los objetivos específicos, se comprobó que el módulo integra de manera adecuada un sistema de monitoreo térmico comprensible y accesible para el usuario, facilitando la interpretación del estado térmico del entorno mediante señales visuales simples. Asimismo, la propuesta formal demostró una adecuada adaptación al entorno agrícola, ya que la disposición del dispositivo, parcialmente enterrado en el suelo, proporcionó estabilidad y firmeza durante las pruebas de campo, manteniendo un funcionamiento continuo bajo condiciones climáticas propias de la temporada de invierno.

En conjunto, los resultados permiten confirmar que la propuesta desarrollada cumple con el objetivo general de plantear un módulo térmico orientado a reducir la vulnerabilidad del cultivo de papa frente a eventos de bajas temperaturas, validando su desempeño como una primera aproximación funcional.



Fig. 8 Kantu Warmi mostrando los datos de temperatura y humedad

## V. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos constituyen una base para el perfeccionamiento del diseño, la optimización de sus componentes y la ampliación de las pruebas en escenarios de uso prolongado. La validación funcional del prototipo evidencia que el enfoque adoptado es viable y pertinente para contextos agrícolas expuestos a eventos de bajas temperaturas.

El desarrollo del dispositivo demuestra que el diseño de soluciones térmicas concebidas desde el contexto agrícola andino puede representar una alternativa viable frente a los efectos del friaje en el cultivo de papa. A diferencia de tecnologías de mayor escala, caracterizadas por altos costos,

consumo energético elevado o limitada adaptabilidad a entornos rurales, la propuesta integra monitoreo ambiental y generación de calor en un módulo accesible y contextualizado, en concordancia con enfoques de prevención de riesgos climáticos en comunidades rurales [5], [6].



Fig. 9 Kantu Warmi siendo posicionado en el terreno

La validación se realizó en escenarios limitados, lo que restringe la generalización de los resultados, como trabajo a futuro se plantea exponer progresivamente a Kantu Warmi a escenarios más exigentes y variables, con el fin de evaluar su desempeño frente a distintos factores climáticos. Asimismo, se identifican oportunidades de mejora orientadas a aumentar su sostenibilidad y eficiencia, como el uso de sensores más precisos y sistemas de control inteligente que optimicen la gestión térmica en condiciones variables.

Finalmente, al compararse con tecnologías activas de mitigación de heladas ampliamente documentadas, se evidencia que, si bien estas soluciones resultan efectivas, presentan limitaciones significativas para su implementación en contextos rurales altoandinos [9]. En este sentido, la propuesta desarrollada aporta una alternativa de menor escala y mayor adaptabilidad, reforzando el rol del diseño industrial en la articulación entre tecnología, territorio y usuario.

## VI. CONCLUSIONES

Se concluye que la propuesta desarrollada representa una herramienta de apoyo viable para los agricultores, con potencial para contribuir a la reducción de las pérdidas en los cultivos de papa ocasionadas por eventos de bajas temperaturas. La validación funcional del dispositivo permitió comprobar su capacidad para monitorear condiciones térmicas y activar un sistema de generación de calor de manera oportuna, respondiendo a las necesidades del contexto agrícola altoandino.

Asimismo, el proyecto plantea una proyección de desarrollo continuo, orientada a mejorar la sostenibilidad y el desempeño del sistema. Si bien la versión actual utiliza baterías de litio como fuente de energía, se considera a futuro la integración de energías limpias, lo que permitiría aumentar la autonomía del módulo y reducir su impacto ambiental. Del mismo modo, se identifican oportunidades de mejora técnica, como la incorporación de sensores de mayor precisión y resistencia, así como la adaptación del módulo a requerimientos locales específicos.

Finalmente, se destaca la importancia de acompañar la implementación de este tipo de tecnologías con procesos de capacitación progresiva dirigidos a los agricultores, fortaleciendo sus capacidades para la prevención de pérdidas agrícolas. En conjunto, la propuesta se proyecta como un sistema en evolución, con potencial para consolidarse como una solución accesible, eficiente y adaptable, capaz de generar un impacto positivo y sostenible en el sector agrícola rural.

## VII. APLICABILIDAD

La propuesta desarrollada evidencia una adecuada adaptación a las condiciones del contexto rural altoandino, para el cual fue concebida. Su implementación permite contribuir a la reducción de pérdidas en el cultivo de papa ocasionadas por eventos de bajas temperaturas, mediante el uso de un módulo tecnológico accesible, orientado a agricultores de pequeña y mediana escala y a sus entornos familiares.

Uno de los principales aspectos de su aplicabilidad es la facilidad de portabilidad del dispositivo, lo que permite su traslado e instalación en zonas agrícolas remotas. Asimismo, su diseño modular posibilita el uso individual o en conjunto de varios módulos, incrementando su cobertura y resistencia según las necesidades del terreno y del cultivo.

El sistema presenta un funcionamiento intuitivo y de fácil comprensión, por lo que no requiere especialización técnica para su uso. Esto lo convierte en una herramienta adecuada para agricultores con distintos niveles de experiencia tecnológica. Además, el dispositivo no queda limitado únicamente a la temporada de friaje, ya que su sistema de detección y visualización de temperatura permite el monitoreo continuo de las condiciones térmicas del cultivo y su entorno, alertando al agricultor ante variaciones críticas en cualquier época del año.

En conjunto, la propuesta se perfila como una herramienta replicable y adaptable, con potencial para ser incorporada en programas de extensión agraria, iniciativas de innovación rural y estrategias de gestión del riesgo climático orientadas a fortalecer la resiliencia del sector agrícola en contextos vulnerables. de apoyo

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue apoyado por el XIII Concurso Anual de Incentivo a la Investigación-2025 de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas - UPC.

## REFERENCES

- [1] Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI), “El Perú es el primer productor de papa en América Latina y el sustento de más de 700 mil familias,” *Gob.pe*, May 29, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.gob.pe/institucion/midagri/noticias/769389-el-peru-es-el-primer-productor-de-papa-en-america-latina-y-el-sustento-de-mas-de-700-mil-familias>
- [2] El Comercio, “Heladas y friaje: Más de 3,7 millones de hectáreas de cultivo están en riesgo por las bajas temperaturas,” *El Comercio*, Jul. 14, 2024. <https://elcomercio.pe/peru/heladas-y-friaje-mas-de-37-millones-de-hectareas-de-cultivo-estan-en-riesgo-por-las-bajas-temperaturas-senamhi-cenepec-ecdata-noticia/>
- [3] K. C. C. Valderrama, “El cambio climático y su relación en la producción de papa,” tesis doctoral, Univ. Nac. Federico Villarreal, Lima, Perú, 2023. [https://repositorio.unfv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13084/7950/UNF\\_V\\_EUPG\\_Valderrama\\_Orbegoso\\_Kenti\\_Cusi\\_Coillor\\_Doctorado\\_2023.pdf](https://repositorio.unfv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13084/7950/UNF_V_EUPG_Valderrama_Orbegoso_Kenti_Cusi_Coillor_Doctorado_2023.pdf)
- [4] K. Paredes, “Estudio sobre la red de distribución de bienes de ayuda humanitaria ante el desastre natural de heladas y friaje en el Perú,” tesis de licenciatura, Pontificia Univ. Católica del Perú, Lima, Perú, Nov. 2020. [En línea]. Disponible en: <https://tesis.pucp.edu.pe/items/a67d1be6-4047-4337-80ea-29595adfe0ce>
- [5] C. Casanova-Vise, C. Cano, and M. Benites, “Weather station with a comprehensive program that promotes preventive culture against hail among local farmers,” in *Proc. 23rd LACCEI Int. Multi-Conf. Eng., Educ. and Technol. (LACCEI)*, Mexico City, Mexico, Jul. 16–18, 2025, <https://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2025.1.1.1644>
- [6] M. J. Salinger, M. V. K. Sivakumar, and R. Motha, “Reducing vulnerability of agriculture and forestry to climate variability and change,” *Climatic Change*, vol. 70, pp. 341–362, 2005, <https://doi.org/10.1007/s10584-005-5954-8>
- [7] R. Quiroz et al., “Impact of climate change on the potato crop and biodiversity in its center of origin,” *Open Agriculture*, vol. 3, no. 1, pp. 273–283, 2018, <https://doi.org/10.1515/opag-2018-0029>
- [8] Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), *Agricultural frost protection*, FAO, Rome, Italy, 2005. [En línea]. Disponible en: <https://www.fao.org/4/y7223e/y7223e00.pdf>
- [9] T. Liu, S. Zhang, T. Sun, C. Ma, and X. Xue, “Review of active plant frost protection equipment and technologies: Current status, challenges, and future prospects,” *Agronomy*, vol. 15, no. 5, p. 1164, 2025, <https://doi.org/10.3390/agronomy15051164>
- [10] Y. A. Mengesha et al., “Farmers’ traditional knowledge on seasonal frost management and their tree preferences in frost-affected highlands of Amhara region, Ethiopia,” *Heliyon*, vol. 10, no. 17, p. e37174, 2024, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e37174>
- [11] Andina, “¿Qué tipo de evento climático es el friaje y dónde se presenta en Perú?” Apr. 16, 2024. <https://andina.pe/agencia/noticia-que-tipo-evento-climatico-es-friaje-y-donde-se-presenta-peru-982154.aspx>
- [12] Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI), *Requerimientos agroclimáticos del cultivo de papa*. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.midagri.gob.pe/bitstream/20.500.13036/612/1/ficha-tecnica01-cultivo-papa.pdf>
- [13] WarmExpert, “Haciendo camas calientes en el invernadero: Tipos de calefacción,” *Techinfus*. <https://warmexpert.techinfus.com/es/sistema-otopleniya/podogrev-zemli-2.html>
- [14] Interempresas, “Las torres antiheladas de AG Group reducen los riesgos de helada cada año,” *Interempresas.net*, Feb. 15, 2023. <https://www.interempresas.net/Agricola/409887-Las-torres-antiheladas-de-AG-Group-reducen-los-riesgos-de-helada-cada-ano.html>
- [15] Kawil SpA, “¿Por qué usar turbos calefactores en invernadero?” *Kawil.cl*. <https://kawil.cl/porque-usar-turbos-calefactores-en-invernadero/>