



REVISTA MULTIDISCIPLINAR EPISTEMOLOGÍA DE LAS CIENCIAS

Volumen 3, Número 3
Julio-Septiembre 2026

Edición Trimestral

CROSSREF PREFIX DOI: 10.71112

ISSN: 3061-7812, www.omniscens.com

Revista Multidisciplinar Epistemología de las Ciencias

Volumen 3, Número 3
julio-septiembre 2026

Publicación trimestral
Hecho en México

La Revista Multidisciplinar Epistemología de las Ciencias acepta publicaciones de cualquier área del conocimiento, promoviendo una plataforma inclusiva para la discusión y análisis de los fundamentos epistemológicos en diversas disciplinas. La revista invita a investigadores y profesionales de campos como las ciencias naturales, sociales, humanísticas, tecnológicas y de la salud, entre otros, a contribuir con artículos originales, revisiones, estudios de caso y ensayos teóricos. Con su enfoque multidisciplinario, busca fomentar el diálogo y la reflexión sobre las metodologías, teorías y prácticas que sustentan el avance del conocimiento científico en todas las áreas.

Contacto principal: admin@omniscens.com

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación

Se autoriza la reproducción total o parcial del contenido de la publicación sin previa autorización de la Revista Multidisciplinar Epistemología de las Ciencias siempre y cuando se cite la fuente completa y su dirección electrónica.

Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución 4.0.



Copyright © 2026: Los autores



9773061781003

Cintillo legal

Revista Multidisciplinar Epistemología de las Ciencias Vol. 3, Núm. 3, julio-septiembre 2026, es una publicación trimestral editada por el Dr. Moises Ake Uc, C. 51 #221 x 16B , Las Brisas, Mérida, Yucatán, México, C.P. 97144 , Tel. 9993556027, Web: <https://www.omniscens.com>, admin@omniscens.com, Editor responsable: Dr. Moises Ake Uc. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2024-121717181700-102, ISSN: 3061-7812, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor (INDAUTOR). Responsable de la última actualización de este número, Dr. Moises Ake Uc, fecha de última modificación, 1 julio 2026.



Revista Multidisciplinar Epistemología de las Ciencias

Volumen 3, Número 3, 2026, julio-septiembre

DOI: <https://doi.org/10.71112/ycbdg797>

**CONTROL TÉRMICO DEL MICROCLIMA EN COLMENAS DE APIS MELLIFERA:
ESTABILIDAD TÉRMICA Y PRODUCCIÓN DE MIEL OBSERVADA**

**THERMAL CONTROL OF THE MICROCLIMATE IN APIS MELLIFERA HIVES:
THERMAL STABILITY AND OBSERVED HONEY PRODUCTION**

Fernando Ignacio Tapia Ramírez

Carlos Felipe Imas Espinoza

Joaquín Ignacio Aravena Núñez

Chile

Control térmico del microclima en colmenas de *Apis mellifera*: estabilidad térmica y producción de miel observada

Thermal control of the microclimate in *Apis mellifera* hives: thermal stability and observed honey production

Fernando Ignacio Tapia Ramírez^{*,a}

ftapia@ucm.cl

<https://orcid.org/0000-0002-2922-9111>

Joaquín Ignacio Aravena Núñez^a

jaravena.nu@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0007-7696-100X>

Carlos Felipe Imas Espinoza^a

cimas@ucm.cl

<https://orcid.org/0009-0006-6431-3024>

*Autor de correspondencia: ftapia@ucm.cl, ^aUniversidad Católica del Maule, Chile

RESUMEN

Este estudio presenta el diseño, fabricación e implementación de un sistema de acondicionamiento térmico para colmenas Langstroth de *Apis mellifera*, evaluado en condiciones productivas de la Región del Maule, Chile. El sistema se basa en un microcontrolador ATmega328P, sensores de temperatura y humedad, una celda Peltier y un esquema de control ON/OFF con histéresis. El prototipo fue evaluado en las localidades de Lircay y San Rafael durante un ciclo anual, y en Hualañé durante un periodo de 30 días en invierno, todas ubicadas en la Región del Maule. En Lircay y San Rafael, la temperatura interna de las colmenas intervenidas se mantuvo entre 19,5–23,0 °C y 20,5–23,5 °C, respectivamente. Estas colmenas registraron producciones de miel superiores a las colmenas de referencia; sin embargo, el número limitado de unidades experimentales y la ausencia de una replicación

suficiente no permiten establecer una relación causal entre la intervención térmica y la producción de miel. En Hualañé se observó cualitativamente una mayor presencia aparente de abejas activas y señales tempranas de ovoposición. Los resultados evidencian la factibilidad tecnológica del sistema para su aplicación en condiciones climáticas propias de la zona central de Chile, aunque se requiere una validación posterior con mayor replicación experimental, grupos de comparación equivalentes y análisis estadísticos.

Palabras clave: *Apis mellifera*; control térmico; microclima de colmenas; celda Peltier; producción de miel.

ABSTRACT

This study presents the design, fabrication, and field implementation of a thermal conditioning system for Langstroth hives of **Apis mellifera** under climatic conditions in the Maule Region, Chile. The system integrates an ATmega328P microcontroller, temperature and relative humidity sensors, a Peltier thermoelectric module, and an ON/OFF control strategy with hysteresis. Field evaluations were conducted in Lircay and San Rafael over an annual cycle and in Hualañé during a 30-day winter period. In the thermally conditioned hives, internal temperatures ranged from 19.5 to 23.0 °C in Lircay and from 20.5 to 23.5 °C in San Rafael. The intervened hives also showed higher honey yields than the reference hives. However, due to the limited number of experimental units and the lack of sufficient replication, these differences cannot be interpreted as evidence of a causal effect of thermal conditioning on honey production. In Hualañé, qualitative observations indicated an apparently greater presence of active bees and early signs of oviposition. Overall, the findings demonstrate the technological feasibility of the proposed system for field application in central Chile. Nevertheless, further studies incorporating larger sample sizes, equivalent control groups, continuous monitoring, and statistical analysis are required to determine its thermal, biological, and productive effects.

Keywords: Apis mellifera; thermal control; hive microclimate; Peltier cell; honey production.

Recibido: 9 julio 2026 | Aceptado: 12 agosto 2026 | Publicado: 13 agosto 2026

INTRODUCCIÓN

Actualmente, más de la mitad de las plantas cultivadas en todo el mundo dependen, de los polinizadores. Según la FAO, cerca del 35% de la producción agrícola mundial se ve influenciada directamente por la actividad de agentes polinizadores (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], s. f.). En términos económicos, en el año 2005, el valor atribuido al papel de la polinización ascendió a aproximadamente €153.000 millones, lo que representa cerca del 9.5% del valor total de la producción agrícola mundial destinada a la alimentación humana, siendo frutas y verduras las principales categorías de cultivos que más valor obtienen de la polinización por insectos (Gallai et al., 2009).

Estos agentes polinizadores, principalmente las abejas, sufren una dramática pérdida demográfica debido a factores como la expansión urbana (McKinney, 2002), el uso indiscriminado de pesticidas (Brittain et al., 2010) y las adversidades climáticas (Obeso & Herrera, 2018), todas consecuencias de la actividad humana. Apis mellifera es el tipo de abeja más comúnmente utilizado por los apicultores para la producción de miel, y resulta crucial proteger sus condiciones microclimáticas, asegurando niveles óptimos de supervivencia, producción, y uso eficiente, de sus recursos alimenticios (Li et al., 2016). En Chile la actividad apícola comenzó a regularizarse en el año 2022 bajo el amparo de la ley 21.489, que establece normativas para el desarrollo sostenible de esta práctica. Además, otros organismos regulados por el ministerio de agricultura, como la oficina de estudios y políticas agrarias (ODEPA), y el servicio agrícola y ganadero (SAG), contribuyen al registro y desarrollo de buenas prácticas apícolas. En este contexto, la división de protección pecuaria del SAG, ha generado el sistema

oficial de información pecuaria (SIPEC) logrando obtener un catastro nacional de apicultores y sus colmenas, identificando un total de 1.533.405 colmenas, al año 2023, y destacando la producción de miel, el servicio de polinización de cultivos y la obtención de material vivo, como actividades líderes (Servicio Agrícola y Ganadero [SAG], 2024). Las condiciones climáticas únicas de este país, que abarcan desde el desierto de Atacama hasta la Patagonia, ofrecen una diversidad de ecosistemas que favorecen la apicultura, sin embargo, estas mismas condiciones exponen a las colmenas a variados desafíos, como grandes variaciones de temperatura en el norte y climas dinámicos con fríos extremos en el sur. Otras investigaciones han aplicado procedimientos similares a los descritos en este documento, aunque éstas no se han desarrollado en Chile, destacando entre los territorios estudiados países como España (Pérez Méndez, 2014), Perú (García Cárdenas, 2023; Jerí Alejos, 2023), Colombia (Dimate Moreno, 2023) y Ecuador (Gualotuña Guachamín, 2017). En estos estudios se han evaluado diversas variables ambientales, incluyendo cambios extremos de temperatura y su efecto en las cámaras de cría durante temporadas frías, así como la regulación de estas temperaturas en periodos donde se excede el umbral óptimo para la supervivencia de estos insectos polinizadores. Adicionalmente, en los estudios realizados en Perú y Ecuador, se implementó la transmisión de datos a plataformas en la nube, facilitando el análisis continuo de la información recabada durante el estudio. En el ámbito comercial existen diversas soluciones orientadas al monitoreo remoto de colmenas, entre ellas plataformas como 3Bee, Beenalytics, Beewise, BroodMinder y BeeHero. Estos sistemas incorporan, con distintas configuraciones, sensores de temperatura, humedad, peso y actividad, junto con herramientas de registro y visualización de datos para apoyar la toma de decisiones del apicultor (3Bee, s. f.; BeeHero, s. f.; Beenalytics, s. f.; Beewise, s. f.; BroodMinder, s. f.). Sin embargo, la mayoría de estas soluciones se concentra en la adquisición y transmisión de información, mientras que el sistema desarrollado en este estudio incorpora, además, una etapa de actuación térmica automática mediante una celda

Peltier y un control ON/OFF con histéresis. Esta diferencia constituye el principal aporte tecnológico del prototipo, al integrar monitoreo y acondicionamiento térmico en una misma arquitectura de control.

En los párrafos previos se ha mencionado reiteradamente a la temperatura como una variable de medición, sin embargo, es importante comprender y destacar su impacto en una colmena. La temperatura influye en muchos procesos biológicos de las abejas, como las condiciones de cría, que pueden causar malformaciones durante el crecimiento (Kronenberg & Heller, 1982); el estrés térmico, que puede provocar una reducción en el desempeño de tareas, mayor susceptibilidad a enfermedades y abandono de la colmena; y los límites de termorregulación, que pueden llevar a la muerte (Walton et al., 2024). Este estudio presenta el desarrollo de un dispositivo de control térmico de una colmena de abejas tipo Langstroth. La implementación se realiza en distintas localidades de la región del Maule, Chile, logrando obtener resultados positivos en cuanto a la estabilidad del microclima ante variaciones adversas de temperatura. El documento se organiza de la siguiente manera: la siguiente sección aborda las bases teóricas, considerando los fundamentos de la apicultura, incluyendo la estructura, el cuidado y el mantenimiento de las colmenas; el diseño del sistema de control, con un enfoque en sus etapas, funcionamiento teórico y condiciones operativas; y la configuración experimental, que detalla los procedimientos realizados en terreno. Posteriormente, se presentan los resultados relacionados con la estabilidad térmica, la producción de miel y las observaciones cualitativas efectuadas en las colmenas intervenidas. Finalmente, se discuten las limitaciones del estudio, las posibilidades de optimización del prototipo y las líneas de investigación futuras.

METODOLOGÍA

Este trabajo considera aspectos biológicos y conductuales de las abejas, los cuales son afectados directamente por las condiciones climáticas, principalmente la temperatura. En esta sección se abordan estos aspectos considerando que, mediante la electrónica, se logra proponer una solución eficaz para garantizar un microclima adecuado dentro de una colmena de *Apis mellifera*.

Apis Mellifera

Apis mellifera, conocida comúnmente como abeja melífera occidental, es una especie cuya distribución nativa comprende amplias regiones de África, Europa, Oriente Medio y Asia occidental. Debido a su capacidad de adaptación a diferentes condiciones ambientales, ha sido manejada y distribuida ampliamente por el ser humano para la producción de miel, la obtención de otros productos apícolas y la prestación de servicios de polinización. En la estructura social de una colonia de *Apis mellifera* pueden distinguirse tres colaboradores principales: reina, zánganos y obreras (Ros, 2009). Particularmente las obreras, que se constituyen por hembras infértiles, realizan gran variedad de funciones dentro de la colmena:

- Nodrizas: Alimentan a las larvas.
- Aseadoras: Limpian la colmena.
- Ventiladoras: Producen y mantienen un flujo de aire en la colmena para regular temperatura y humedad.
- Constructoras: Fabrican panales.
- Guardianas: Protegen la colmena de otras abejas o insectos.
- Forrajeadoras: Salen de la colmena a recolectar agua y alimentos.
- Exploradoras: Buscan fuentes de alimento y nuevos hábitats.

Al introducir una colmena en un nuevo hábitat se debe considerar el clima de origen o el rango térmico de supervivencia de la especie. En Chile, *Apis mellifera* corresponde a una

especie introducida y ampliamente utilizada en la actividad apícola. En la zona central del país, las colonias se desarrollan bajo condiciones de clima mediterráneo, caracterizado por veranos secos y cálidos e inviernos fríos y lluviosos. Estas variaciones estacionales influyen en la disponibilidad de recursos florales, la actividad de la colonia y sus requerimientos de termorregulación, (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, s. f.). En el tiempo cálido, considerado desde los primeros días de primavera, la reina se mantiene activa con una ovoposición de hasta 2000 huevos/día (Crozier, 2019), mientras que las obreras, en su rol de ventiladoras y forrajeadoras, mantienen una temperatura de 34 °C dentro de la colmena y realizan la recolección de polen y néctar hasta el fin del periodo de floración (Seshadri & Walker, 2019). Durante el tiempo frío la supervivencia de la colmena dependerá de sus reservas de miel y polen. En este punto la abeja reina pausa su actividad reproductiva para reducir el uso de recursos, mientras que las abejas obreras forman una masa compacta, manteniendo el calor que generan mediante el movimiento de sus músculos alares, un proceso que es metabólicamente costoso. Durante el invierno, las obreras forman un agrupamiento termorregulador y generan calor mediante actividad muscular, lo que permite mantener temperaturas internas superiores a las del ambiente, aunque la magnitud de esta regulación depende de la fortaleza de la colonia, la disponibilidad de reservas y la presencia de cría (Stabentheiner et al., 2010, 2021). En condiciones naturales, las colonias de *Apis mellifera* se establecen preferentemente en cavidades protegidas, como huecos de árboles u otros espacios cerrados que proporcionan resguardo frente a las condiciones ambientales. En el interior de estas cavidades, las abejas construyen panales de cera destinados a la cría y al almacenamiento de miel y polen. La selección del sitio de nidificación depende de factores como el volumen de la cavidad, la protección frente al viento y la lluvia, la altura respecto del suelo, la orientación de la entrada y la disponibilidad de recursos en el entorno, (Jean-Prost & Médori, 2007). Debido a esto, los apicultores han diseñado y construido colmenas que facilitan

la explotación de abejas para polinización y producción de miel, siendo mayoritariamente utilizada la colmena tipo Langstroth, que se distingue por ser una estructura cúbica, como una caja, con niveles y tapas, proporcionando la capacidad de expansión en el sentido vertical. Este diseño favorece las maniobras de transporte, inspección de colonias y extracción de miel. Además, permite buena ventilación y proporciona sombra, creando condiciones de hábitat adecuadas para las abejas (Jean-Prost & Médori, 2007).

Alteraciones funcionales de una colmena

A pesar de los esfuerzos por generar un diseño que proporcione cierta comodidad y protección para las abejas, existen factores externos que alteran las condiciones funcionales de la colmena.

La reducción de la flora, tanto en cantidad como en diversidad, impacta negativamente en la producción de miel y, en consecuencia, disminuye las probabilidades de supervivencia de las abejas durante el invierno (Lázaro & Tur, 2018). A esto se suma el uso de productos fitosanitarios tóxicos para las abejas, la exposición a parásitos, como *Varroa destructor* (un ácaro que se alimenta de la hemolinfa) y *Nosema ceranae* microsporidio parásito que infecta las células epiteliales del ventrículo de las abejas adultas. (Seshadri & Walker, 2019). Además, la presencia de especies invasoras, como polillas de cera, hormigas, avispas asiáticas o el escarabajo de colmena, puede causar daños significativos tanto en las poblaciones como en las reservas de alimento (Ros, 2009). Por último, las condiciones de cambio climático, especialmente las variaciones de temperatura, alteran el ecosistema circundante y afectan los ciclos biológicos de las abejas, influyendo en la sincronía de la actividad de la colmena durante los cambios estacionales.

Variables y rangos de interés

Las condiciones microclimáticas también pueden influir en la dinámica de agentes parasitarios; sin embargo, esta relación no es lineal ni permite inferir que las temperaturas bajas favorezcan necesariamente su proliferación. En el caso de *Varroa destructor*, la World Organisation for Animal Health reconoce que la supervivencia y la dinámica del ácaro están condicionadas por variables ambientales, y establece que su diagnóstico debe basarse en la cuantificación directa de la infestación en abejas adultas, cría o residuos de la colmena (World Organisation for Animal Health [WOAH], 2021). Estudios experimentales han descrito, además, variaciones en el crecimiento poblacional de *V. destructor* entre colonias y temporadas, asociadas con factores térmicos, humedad relativa y características biológicas de la colonia (Harris et al., 2003).

Respecto de *Nosema ceranae*, corresponde clasificarlo como un microsporidio, es decir, un hongo parásito altamente especializado que infecta las células epiteliales del ventrículo de las abejas adultas. La evidencia oficial señala que su multiplicación depende de la temperatura y que *N. ceranae* puede presentar sensibilidad frente a temperaturas bajas y capacidad de reproducción bajo condiciones térmicas más elevadas. Por consiguiente, no resulta científicamente adecuado afirmar que las bajas temperaturas constituyen por sí solas condiciones óptimas para su proliferación (WOAH, 2024).

En consecuencia, en este estudio la temperatura y la humedad se emplearon como indicadores del desempeño microclimático del sistema y no como medidas directas del estado sanitario de las colonias. No se realizaron recuentos de ácaros, análisis microscópicos, pruebas moleculares ni otras evaluaciones diagnósticas para determinar la presencia o carga de *V. destructor* o *N. ceranae*.

Diseño del sistema de control

Controlar la temperatura al interior de una colmena requirió dotar a un dispositivo con las etapas necesarias para fijar y alcanzar un setpoint térmico, teniendo en cuenta condiciones sensadas en la colmena y perturbaciones ambientales. Esto da lugar a la implementación de un sistema de lazo cerrado, implicando las siguientes etapas:

- Medición de la temperatura como variable de control.
- Comparación con valor de referencia a través de un controlador que compara con un setpoint establecido calculando la diferencia entre ambos.
- Decisión de control donde la diferencia calculada determina si debe activar o desactivar el actuador.
- Acción del actuador: El cual en función de la configuración del controlador acciona la fuente térmica.

Se seleccionó un control ON/OFF con histéresis debido a su simplicidad de implementación y a la elevada inercia térmica del sistema. La banda de histéresis permitió reducir las conmutaciones frecuentes del actuador alrededor del setpoint.

Configuración experimental

El desarrollo experimental se estructuró en dos etapas: la fabricación y verificación funcional del prototipo, seguida de su implementación en colmenas ubicadas en distintas localidades de la Región del Maule, Chile. El sistema se diseñó como una arquitectura de control en lazo cerrado compuesta por una unidad de procesamiento, sensores de temperatura y humedad, un actuador termoeléctrico, elementos de conmutación, almacenamiento local de datos y una etapa de alimentación y protección eléctrica. La unidad de control correspondió a una placa Arduino UNO Rev. 3, basada en el microcontrolador ATmega328P. Como elemento calefactor se empleó una celda Peltier TEC1-12706 acoplada a una placa disipadora para

favorecer la distribución del calor. La activación del actuador se realizó mediante un módulo de relés de dos canales alimentado a 5 V. La medición de la temperatura de la placa calefactora se efectuó con un sensor digital DS18B20 configurado con una resolución de 12 bits, mientras que la temperatura y la humedad relativa, tanto internas como externas, se midieron mediante dos sensores DHT22.

El DS18B20 presenta un intervalo nominal de medición entre -55 y 125 °C y una exactitud declarada de $\pm 0,5$ °C en su intervalo principal de operación. Los sensores DHT22 permiten medir temperaturas entre -40 y 80 °C, con una exactitud nominal de $\pm 0,5$ °C, y humedad relativa entre 0 y 100 %, con una exactitud declarada de aproximadamente ± 2 % HR. Las especificaciones y funciones de los principales componentes se resumen en la Tabla 1.

Tabla 1.

Componentes principales del prototipo y función dentro del sistema

Componente	Función
Colmena Langstroth	Unidad física que alberga la colonia de abejas.
Arduino UNO Rev. 3	Procesamiento de señales y ejecución del algoritmo de control.
Celda Peltier TEC1-12706	Generación de calor para el acondicionamiento térmico.
Módulo de relés de dos canales, 5 V CC	Conmutación del actuador térmico.
Sensor DS18B20	Medición de la temperatura asociada a la placa calefactora.
Sensor DHT22 interior	Medición de la temperatura y humedad relativa dentro de la colmena.
Sensor DHT22 exterior	Medición de la temperatura y humedad relativa ambiental.
Módulo data logger con tarjeta SD	Registro local de las variables experimentales.
Fuente de alimentación	Conversión de 220 V CA a 12 V CC.
Convertidor reductor LM2596	Regulación de tensión para sensores, actuadores y comunicaciones.
Placa disipadora	Distribución del calor generado por la celda Peltier.
Tablero eléctrico	Montaje y protección de los componentes electrónicos.

Sistema de alimentación
ininterrumpida

Continuidad operativa ante interrupciones de la red eléctrica.

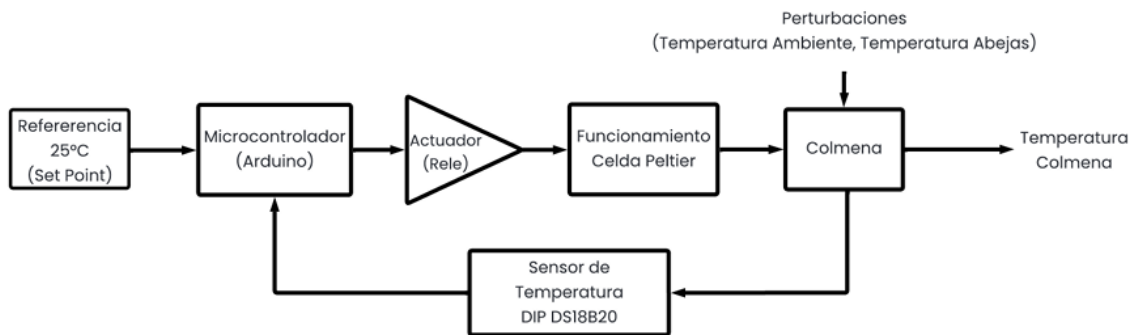
Antes de su instalación en terreno, los sensores fueron sometidos a una verificación metrológica en los laboratorios de Ingeniería Civil Electrónica de la Universidad Católica del Maule. Para ello se utilizó un horno de calibración FLUKE 9100S, estableciendo temperaturas de referencia de 10, 20 y 30 °C. Las lecturas proporcionadas por los sensores se compararon con los valores de referencia del equipo, observándose diferencias relativas de hasta aproximadamente un 4 %. Este nivel de desviación se consideró admisible para los objetivos de monitoreo y control térmico del prototipo. La comprobación permitió verificar la coherencia de respuesta de los sensores dentro del intervalo térmico de interés, aunque no correspondió a una calibración metrológica certificada.

Las variables fueron adquiridas y almacenadas cada 10 minutos. Cada registro incluyó la temperatura de la placa calefactora, la temperatura y humedad relativa internas, la temperatura y humedad relativa externas y el estado de activación del actuador. Los datos fueron almacenados localmente en archivos con formato CSV mediante una tarjeta SD, conservando una referencia temporal para cada observación. La misma periodicidad de 10 minutos se empleó durante las pruebas preliminares de transmisión remota. La continuidad del sistema se respaldó mediante una fuente de alimentación ininterrumpida, lo que permitió mantener la adquisición y el almacenamiento de datos ante interrupciones breves de la red eléctrica. Durante los periodos analizados no se identificaron pérdidas de registros atribuibles a fallas de alimentación, sensores o almacenamiento. Tampoco se aplicaron procedimientos de interpolación de datos ni se eliminaron observaciones por valores atípicos. Con los componentes descritos se configuró el sistema de control mostrado en la Figura 1. El proceso comienza con una referencia térmica de 25 °C y con la adquisición de la temperatura mediante el sensor DS18B20. Posteriormente, el microcontrolador compara la medición con los umbrales establecidos y determina la activación o desactivación de la celda Peltier. De forma paralela,

los sensores DHT22 registran las condiciones microclimáticas internas y ambientales, permitiendo caracterizar la respuesta de la colmena frente a la actuación térmica y a las perturbaciones externas.

Figura 1

Diagrama del sistema de control térmico retroalimentado.

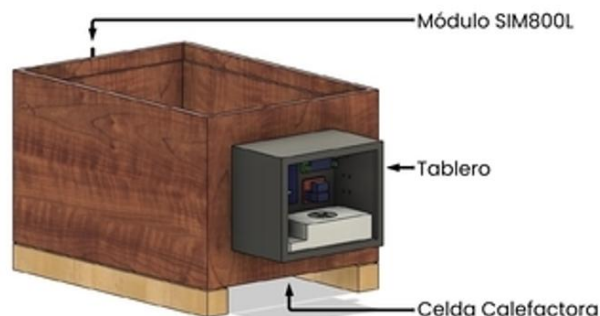


Implementación

Para el montaje del dispositivo se modificó una colmena proporcionada por el apicultor, la cual disponía de una rendija de ventilación inferior de 110 mm × 400 mm. Estas dimensiones eran compatibles con la placa calefactora y permitieron su instalación sin modificaciones estructurales adicionales. El sensor DHT22 interior se ubicó aproximadamente a 20 cm de la placa calefactora. El sensor DS18B20 se instaló dentro de la colmena, aproximadamente a 15 cm de uno de sus bordes, mientras que el DHT22 exterior se posicionó a 1 m de altura, junto al borde de la colmena y protegido de la exposición directa al agua.

Figura 2

Modelo tridimensional del prototipo y ubicación de sus principales módulos.



En uno de los laterales se instaló el tablero eléctrico que alojó la fuente de alimentación, el microcontrolador, los convertidores de tensión, el módulo de relés y el sistema de almacenamiento. El módulo de comunicación SIM800L se dispuso junto al tablero y transmitió datos cada 10 minutos durante las pruebas preliminares. La placa Peltier se posicionó en la parte inferior de la colmena, de acuerdo con la configuración representada en la Figura 2.

Figura 3

Colmena termocontrolada instalada en terreno junto con las colmenas de referencia



El sistema fue alimentado desde la red eléctrica de 220 V y 50 Hz y respaldado mediante una UPS. Esta configuración permitió mantener la adquisición y el almacenamiento

local de datos ante interrupciones breves del suministro. La Figura 3 muestra la disposición final de la colmena intervenida en terreno, junto con las colmenas utilizadas como referencia.

RESULTADOS

Como resultado de esta prueba experimental, se obtuvo la primera iteración de un prototipo funcional de acondicionamiento térmico para colmenas, implementado en tres comunas de la región del Maule, Chile. Esta sección presenta el diseño simulado y la versión final del prototipo, su instalación en las colmenas; los datos recopilados a partir de las mediciones realizadas en las distintas localidades y las ventajas observadas en el comportamiento de las abejas gracias a su implementación.

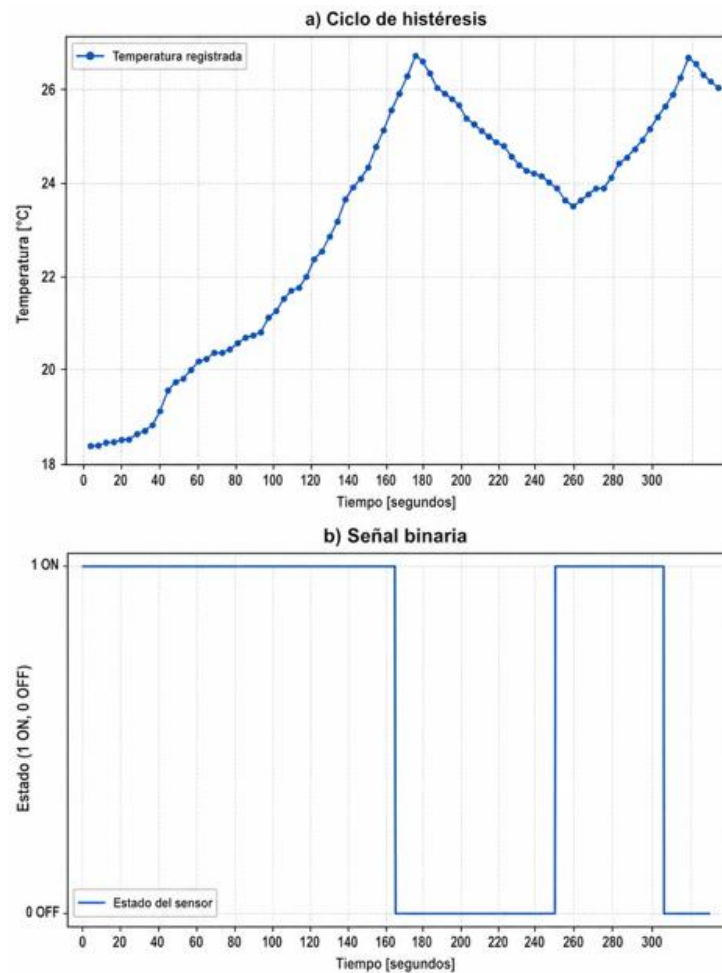
Control del actuador

Utilizando el software Simulink®, se desarrolló una simulación que permite determinar el comportamiento del control ON/OFF en las placas Peltier, considerando una banda de histéresis para evitar el encendido intermitente reiterado. En la práctica, el ciclo de funcionamiento de las placas depende de numerosas perturbaciones, tales como el movimiento y la temperatura generada por las abejas, así como la temperatura ambiental. El comportamiento real de las señales y de la temperatura dentro de la colmena se muestra en los gráficos a) y b) de la Fig. 4, respectivamente.

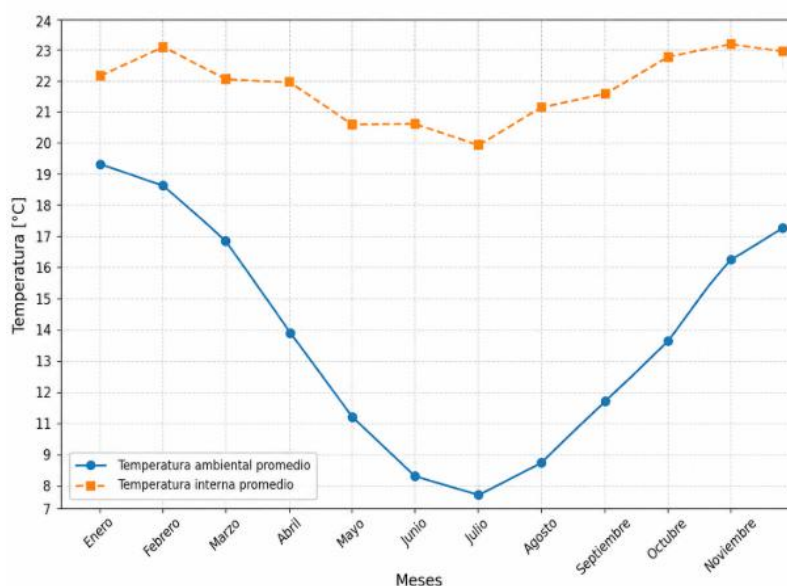
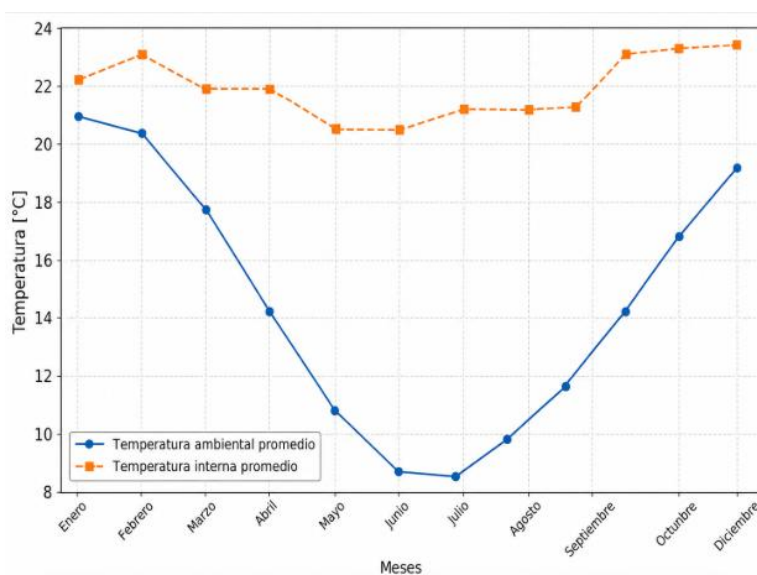
Perfil de temperatura

En las localidades de Lircay y San Rafael, se implementó el prototipo durante un año, logrando mantener las temperaturas estables. Utilizando el recurso interactivo explorador solar (Ministerio de Energía de Chile, s. f.), fue generado un registro de datos del promedio de temperatura mensual para ambas ciudades, observando variaciones que se encuentran muy cercanas a la temperatura límite de supervivencia de las abejas. Por un lado, en el caso de Lircay, durante el periodo de verano se registra un promedio de temperatura cercana a los 18.3

°C, la cual es una temperatura adecuada para la supervivencia de las abejas, mientras que en invierno la temperatura decae a un promedio inferior a 10 °C durante tres meses, condiciones de riesgo para la población de las abejas, lo cual se evidencia, en otras colmenas, con una disminución de la población al término del periodo de hibernación. El perfil de temperatura ambiental e interna de esta intervención se presenta en la Fig. 5, donde se observa el mantenimiento notable de la temperatura interna entre 19.5 °C y 23 °C a lo largo del año. La curva de color azul, que representa la temperatura ambiente, se alinea con el uso de datos promedio. La temperatura ambiental inferior se registra en julio y corresponde a 7.6 °C, periodo que coincide con la temperatura menor identificada al interior de la colmena. Por otro lado, evaluando las condiciones ambientales de San Rafael, la temperatura promedio rodea los 20 °C durante el periodo de verano, mientras que en invierno solo hay tres meses que presentan una temperatura promedio inferior a los 10 °C, lo cual indicaría un menor consumo del equipo para alcanzar temperaturas adecuadas.

Figura 1:*Comportamiento real del control ON/OFF*

Para el perfil interno de temperatura en este caso, se presenta la Fig. 6, evidenciando un comportamiento similar al presentado en Lircay, en el sentido de la forma de la curva y su coincidencia con la curva de temperatura promedio ambiental, donde se destaca nuevamente la eficacia para mantener una temperatura interna promedio entre 20.5 °C y 23.5 °C, mientras que el menor valor externo es de 8.5 °C correspondiente mes de julio para este caso.

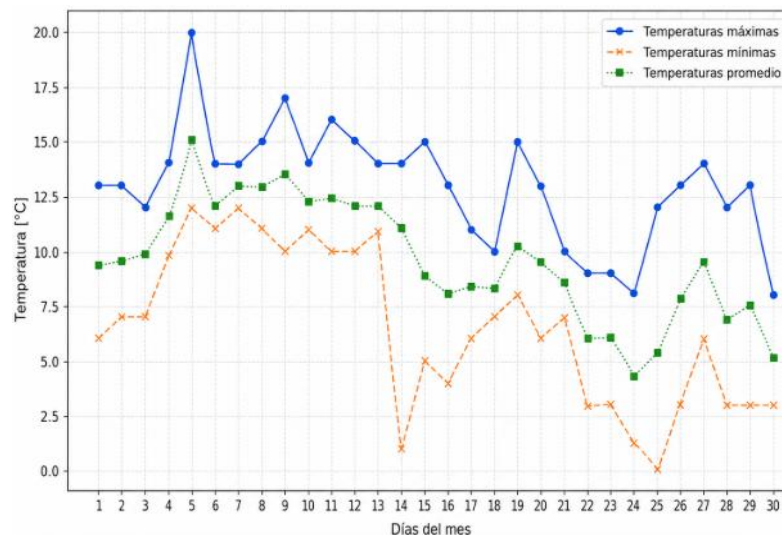
Figura 2*Temperatura promedio ambiental e interna para cada mes en Lircay***Figura 3***Temperatura promedio ambiental e interna para cada mes en San Rafael*

Los resultados presentados reflejan la efectividad de la implementación con base en promedios mensuales, proporcionando una visión global del desempeño del dispositivo. A continuación, se presenta la localidad de Hualañé, donde se brinda mayor detalle en el

funcionamiento diario del prototipo en clima invernal, agregando valores máximos y mínimos en el registro de la temperatura. En el caso de Hualañé, se realizó una intervención de 30 días (junio) determinando los rangos de temperatura exterior diarios, como se muestra en la Fig. 7, en donde se debe analizar el perfil relativamente alto de 10 °C, en promedio, de temperaturas mínimas registradas los primeros trece días del mes, que se debieron a intensas lluvias que estabilizaron la sensación térmica, seguidos de 17 días fríos donde se registró un promedio de 3 °C en la temperatura mínima.

Figura 4

Temperatura promedio, máxima y mínima en exterior para cada día en Hualañé



Las bajas temperaturas exteriores representaron condiciones térmicas exigentes para la colonia y pudieron incrementar la demanda de termogénesis y el consumo de reservas alimentarias. Además, la Fig. 7, presenta los valores máximos registrados, que son relativamente estables y rodean los 13 °C, pero no superan los 20 °C, inferiores al rango térmico característico de la zona de cría.

Contrastando con la figura analizada, se presenta la Fig. 8 cuyo gráfico muestra el registro de la temperatura interior de la colmena en el mismo periodo de tiempo con un

promedio de 17 °C, un mínimo de 12 °C y un máximo de 25 °C, evidenciando el efecto del control térmico aplicado.

Este comportamiento fue consistente con el criterio operacional de asistencia térmica moderada; no obstante, el estudio no evaluó directamente su efecto sobre los mecanismos naturales de termorregulación de la colonia.

Figura 5

Temperatura promedio, máxima y mínima, en interior para cada día en Hualañé

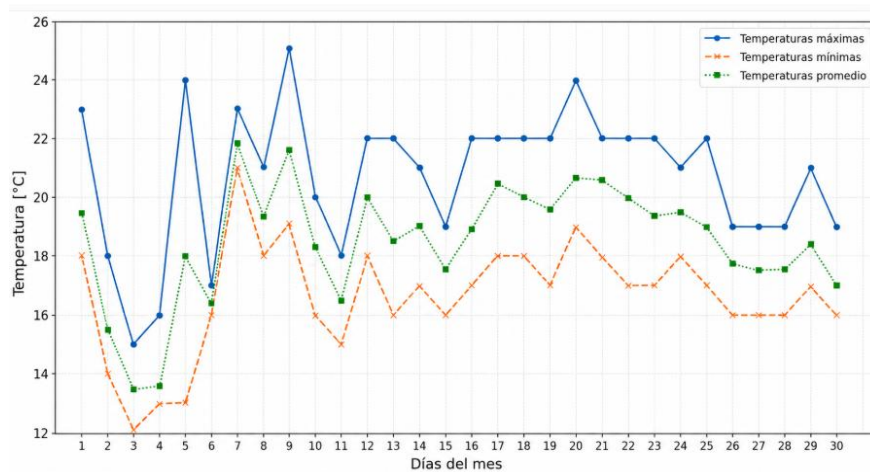
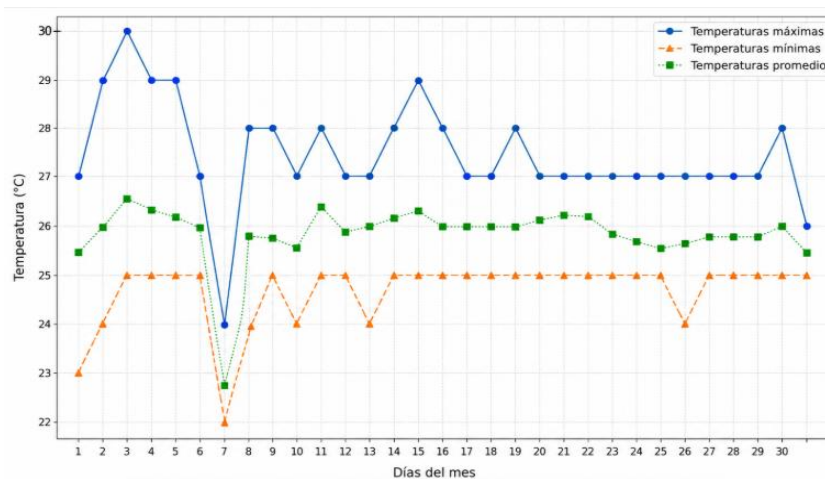


Figura 6

Temperatura promedio, máxima y mínima, de la celda calefactora para cada día en Hualañé.



Incremento en la actividad de las abejas

En los tres casos evaluados se observó una reactivación anticipada de la actividad de las abejas con respecto al periodo habitual de inactividad invernal, previa al inicio de la primavera. En las localidades de San Rafael y Lircay, las colmenas intervenidas presentaron una producción de miel superior al promedio registrado en las colmenas sin control térmico utilizadas como referencia. En San Rafael, la colmena intervenida produjo 33 kg de miel, en comparación con un promedio de 21,2 kg en las demás colmenas sin intervención electrónica. En Lircay, la colmena intervenida alcanzó una producción de 38,5 kg, mientras que las colmenas de referencia promediaron 20 kg. Estas diferencias corresponden a resultados descriptivos observados durante el periodo de estudio y no permiten establecer, por sí solas, una relación causal entre el control térmico y la producción de miel.

En el caso de Hualañé, no se registraron valores de cosecha de miel debido a la duración limitada de la intervención. No obstante, durante las inspecciones posteriores al periodo invernal se observó una mayor presencia aparente de abejas activas en la colmena intervenida, junto con indicios tempranos de ovoposición. Estas observaciones fueron de carácter cualitativo y no correspondieron a mediciones directas de supervivencia, tamaño poblacional ni actividad reproductiva. En la Fig. 10 se presenta una comparación del consumo del alimento suministrado en las colmenas. En la sección a), correspondiente a la colmena sin control térmico, se observa una mayor cantidad de alimento remanente, lo que podría asociarse con una menor actividad de la colonia durante el periodo invernal. Por el contrario, en la sección b), correspondiente a la colmena intervenida, se aprecia una menor cantidad de alimento remanente y una mayor presencia aparente de abejas activas. Estas observaciones deben interpretarse como evidencia cualitativa y no como una medición directa del nivel de actividad metabólica o poblacional.

Figura 7

Comparación visual de las colmenas



Comparación visual de las colmenas durante la inspección posterior al periodo invernal: a) colmena sin control térmico, con mayor cantidad aparente de alimento remanente; b) colmena intervenida, con menor cantidad aparente de alimento remanente y mayor presencia visible de abejas. Las imágenes corresponden a observaciones cualitativas y no representan un recuento poblacional.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos permitieron identificar fortalezas, limitaciones y oportunidades de mejora asociadas al funcionamiento del prototipo, las cuales se analizan a continuación.

Diseño del prototipo

Durante el diseño del prototipo fueron consideradas celdas Peltier, aprovechando su capacidad para transferir calor en un amplio rango de temperaturas. La versatilidad de este componente es determinante para la adaptación del dispositivo a diversos climas, desde fríos extremos hasta altas temperaturas. Para este caso solo fue aprovechada su prestación calefactora, y durante el periodo de evaluación no se registraron efectos adversos evidentes atribuibles directamente al funcionamiento térmico de la celda Peltier. Sin embargo, el estudio no incluyó indicadores conductuales o fisiológicos específicos de bienestar. Para la

implementación de la prestación refrigeradora, resulta crucial mantener la temperatura del disipador en niveles relativamente bajos en el lado caliente, con el objetivo de optimizar la eficiencia en la reducción térmica.

La configuración adecuada de los componentes requeridos para ambas funcionalidades permitiría alternar entre calefacción y enfriamiento mediante un cambio de polaridad. Sin embargo, la dependencia de un ventilador para disipar el calor generado en la cara caliente introduce desafíos adicionales, tales como el ruido acústico, vibraciones mecánicas y eventuales perturbaciones eléctricas asociadas al accionamiento del ventilador, factores que podrían resultar adversos para los insectos polinizadores en el entorno inmediato.

Otro ajuste de hardware que se debe de proyectar es una fuente de alimentación ininterrumpida, como lo es un SAI o UPS, por sus siglas en inglés, baterías o la generación eléctrica mediante fuentes renovables, ya que existe una dependencia de la red eléctrica. Esta dependencia es problemática, especialmente en ubicaciones remotas donde se encuentran los polinizadores y donde el acceso a la electricidad puede ser limitado. Por lo tanto, para implementaciones futuras se debe considerar el uso de sistemas de energía alternativos para mantener un control continuo de la temperatura dentro de la colmena, evitando un estrés térmico adicional.

Aumento en la productividad y actividad de las abejas

En Lircay y San Rafael se observó una mayor producción de miel en las colmenas intervenidas respecto de las colmenas utilizadas como referencia. En Lircay, la diferencia correspondió aproximadamente a un 92,5 %, mientras que en San Rafael alcanzó cerca de un 55,7 %. No obstante, debido a que se evaluó una sola colmena intervenida por localidad y no se contó con replicación experimental suficiente, estas diferencias deben interpretarse como resultados descriptivos preliminares. La producción de miel puede estar influida por múltiples factores, entre ellos la fortaleza inicial de la colonia, la edad y calidad de la reina, la

disponibilidad floral, las condiciones sanitarias, la alimentación suplementaria y la variabilidad microclimática. Por tanto, no es posible atribuir el incremento observado exclusivamente al sistema de control térmico. Los resultados sugieren una asociación favorable entre la estabilización térmica del microclima y el desempeño productivo de las colmenas intervenidas. Sin embargo, esta relación deberá confirmarse mediante estudios con mayor número de unidades experimentales, grupos control equivalentes, aleatorización y análisis estadístico.

Observaciones asociadas al sistema de telemetría

Durante la implementación del sistema de telemetría mediante el módulo SIM800L se observaron cambios conductuales en las abejas coincidentes temporalmente con la activación de la transmisión de datos, particularmente un incremento aparente de la conducta defensiva frente a personas próximas a la colmena. A partir de esta observación, el apicultor colaborador decidió suspender el funcionamiento continuo del módulo. Sin embargo, el diseño experimental no contempló mediciones de intensidad de campo electromagnético, potencia radiada, ruido acústico, vibraciones, temperatura del dispositivo ni una evaluación conductual estandarizada. En consecuencia, no es posible atribuir de manera concluyente la respuesta observada a la exposición a radiofrecuencia ni establecer una relación causal entre la operación del módulo y la conducta de la colonia. Futuras investigaciones deberán evaluar esta hipótesis mediante un diseño específico que compare periodos con y sin transmisión, controle las variables potencialmente confundentes y registre indicadores conductuales objetivos. Desde una perspectiva tecnológica, se recomienda almacenar los datos localmente y realizar transmisiones breves en intervalos programados, o bien ubicar la antena y el módulo de comunicación a una distancia mayor de la colmena.

CONCLUSIONES

El estudio permitió diseñar, fabricar e implementar un prototipo funcional para el acondicionamiento térmico del microclima en colmenas Langstroth de *Apis mellifera*. La arquitectura desarrollada, basada en un microcontrolador ATmega328P, sensores de temperatura y humedad, una celda Peltier empleada como fuente calefactora y un control ON/OFF con histéresis, demostró capacidad para operar en condiciones reales de terreno y responder a las perturbaciones térmicas generadas por el ambiente y por la propia actividad de la colonia. La regulación implementada fue concebida como un mecanismo de asistencia térmica moderada, manteniendo la celda calefactora en torno a 25–26 °C. Será necesario evaluar experimentalmente en qué medida esta intervención complementa o modifica los mecanismos colectivos de termorregulación de la colonia. Los registros obtenidos en Lircay y San Rafael durante un ciclo anual evidenciaron una estabilización sostenida de la temperatura interna, aun durante los meses invernales en los que la temperatura ambiental promedio descendió por debajo de 10 °C. En Lircay, la temperatura interna se mantuvo entre 19,5 y 23,0 °C, mientras que en San Rafael permaneció entre 20,5 y 23,5 °C. Estos resultados muestran que el sistema fue capaz de atenuar las variaciones térmicas externas y conservar condiciones internas más estables durante periodos climáticamente críticos. El comportamiento productivo observado fue concordante con la mejora de las condiciones microclimáticas. En Lircay, la colmena intervenida produjo 38,5 kg de miel, frente a un promedio de 20 kg en las colmenas sin control térmico, equivalente a un incremento aproximado del 93 %. En San Rafael, la producción alcanzó 33 kg, en comparación con 21,2 kg en las colmenas no intervenidas, correspondiente a un aumento cercano al 56 %. Debido a que el estudio consideró una colmena intervenida por localidad y no incluyó un diseño con replicación suficiente para realizar inferencia estadística, estos resultados deben interpretarse como evidencia experimental preliminar y no como demostración definitiva de causalidad. No obstante, su magnitud justifica

la realización de estudios posteriores con mayor número de unidades experimentales, aleatorización y control sistemático de variables apícolas y ambientales. La intervención desarrollada durante 30 días de invierno en Hualañé permitió evaluar el sistema bajo condiciones térmicas especialmente adversas. Mientras las temperaturas mínimas exteriores alcanzaron un promedio cercano a 3 °C durante los días más fríos, la temperatura interna de la colmena presentó un promedio de 17 °C, con valores comprendidos entre 12 y 25 °C. Paralelamente, se observó una mayor actividad posterior al periodo invernal, un adelanto de la ovoposición y una mayor presencia aparente de abejas activas después del periodo invernal. Estos indicadores sugieren que la asistencia térmica pudo reducir la exposición de la colonia a condiciones críticas; sin embargo, la supervivencia y la actividad reproductiva deberán cuantificarse mediante indicadores estandarizados, tales como tamaño poblacional, superficie de cría, mortalidad, consumo de reservas y estado sanitario. La celda Peltier mostró una implementación técnicamente viable como elemento calefactor, debido a su tamaño compacto, facilidad de control y posibilidad de integración en la estructura inferior de la colmena. Su capacidad reversible permitiría incorporar refrigeración mediante inversión de polaridad; sin embargo, esta ampliación requiere estudiar previamente la disipación de calor, la eficiencia energética, la generación de vibraciones y ruido, y sus posibles efectos sobre el comportamiento de las abejas. Por ello, cualquier modificación del sistema debe sustentarse en ensayos controlados que evalúen simultáneamente desempeño térmico, consumo energético, productividad y bienestar de la colonia. La incorporación del módulo SIM800L permitió evaluar preliminarmente la transmisión remota de datos. Durante su operación se observaron cambios conductuales coincidentes con los periodos de transmisión; sin embargo, el estudio no incluyó mediciones electromagnéticas ni un protocolo conductual específico, por lo que no es posible establecer una relación causal entre la radiofrecuencia y la respuesta de las abejas. En futuras versiones se recomienda reducir la duración y frecuencia de las transmisiones, priorizar el

almacenamiento local de datos y situar el sistema de comunicación a una mayor distancia de la colonia. Asimismo, será necesario desarrollar ensayos controlados que comparen condiciones con y sin transmisión y que consideren posibles factores de confusión, tales como ruido, vibraciones, calentamiento del equipo y presencia humana. Finalmente, la dependencia de una alimentación de 220 V limita actualmente la utilización del prototipo en apiarios remotos. Una evolución tecnológica pertinente consiste en integrar almacenamiento mediante baterías, generación fotovoltaica y gestión eficiente de energía. Asimismo, el desarrollo de una placa electrónica unificada permitiría reducir el volumen del sistema, mejorar su confiabilidad, simplificar el montaje y disminuir la cantidad de conexiones. Una configuración modular y energéticamente autónoma favorecería su adopción por parte de los apicultores, siempre que su implementación se acompañe de protocolos de seguridad eléctrica, validación biológica y evaluación técnico-económica. En síntesis, los resultados demuestran la factibilidad tecnológica de aplicar control electrónico para estabilizar el microclima térmico de colmenas de *Apis mellifera*. La estabilidad térmica alcanzada, junto con los aumentos productivos observados y los indicadores conductuales registrados, posiciona al prototipo como una alternativa promisorio para apoyar el manejo apícola en zonas con inviernos fríos. No obstante, su eficacia térmica y productiva, así como sus posibles efectos biológicos, deberá confirmarse mediante investigaciones con mayor tamaño muestral mediante investigaciones con mayor tamaño muestral, replicación entre apiarios y temporadas, análisis estadístico y seguimiento longitudinal de las colonias.

Declaración de conflicto de interés

Los autores declaran que no existe ningún conflicto de interés de carácter financiero, comercial, institucional, profesional o personal que pudiera haber influido de manera inapropiada en el diseño, ejecución, análisis, interpretación o presentación de los resultados de esta investigación. Asimismo, manifiestan que los apicultores colaboradores participaron únicamente mediante el aporte de recursos, infraestructura y apoyo operativo para la implementación experimental, sin intervenir en el análisis de los datos ni en las decisiones relacionadas con la elaboración y publicación del manuscrito.

Declaración de contribución a la autoría

Fernando Ignacio Tapia Ramírez: conceptualización, metodología, investigación, administración del proyecto, recursos, adquisición de fondos, software, supervisión, validación, visualización, redacción del borrador original, revisión y edición de la redacción. Su contribución comprendió la formulación del problema de investigación, la definición de los objetivos, el diseño experimental, el diseño y desarrollo del prototipo electrónico, la programación e integración del sistema de control, la coordinación general del estudio, la supervisión de la implementación en terreno, la interpretación de los resultados y la preparación y revisión crítica del manuscrito.

Carlos Felipe Imas Espinoza: metodología, investigación, análisis formal, validación, supervisión, revisión y edición de la redacción. Su participación se concentró en el análisis de los fenómenos térmicos involucrados, la incorporación de ajustes al diseño experimental derivados del comportamiento de transferencia de calor del sistema, la revisión técnica de la configuración térmica del prototipo, la interpretación de los resultados y la revisión crítica del manuscrito.

Joaquín Ignacio Aravena Núñez: investigación, curación de datos, recursos, software, validación, visualización, revisión y edición de la redacción. Su contribución incluyó la puesta en

servicio del prototipo, la replicación y verificación de su funcionamiento durante la etapa experimental final, la recolección, organización y depuración de los datos, la comprobación de la operación del sistema en terreno y la elaboración de modelos y representaciones mediante dibujo asistido por computadora.

Declaración de financiamiento: La investigación fue financiada mediante recursos propios de los autores y aportes en recursos, infraestructura y apoyo operativo proporcionados por los apicultores colaboradores. El estudio no recibió financiamiento proveniente de fondos concursables, agencias públicas ni entidades comerciales. Los Apicultores que colaboraron en este proceso fueron Millaray Araya, Fabián Heriberto Ríos Cubillo, Luis Bello Martínez y Jeremías Isaac Ferrada Rodríguez, quienes contribuyeron con apoyo territorial y operativo para la implementación del estudio.

Declaración de uso de inteligencia artificial

Los autores declaran que utilizaron herramientas de inteligencia artificial generativa exclusivamente como apoyo editorial para la revisión lingüística, reorganización, síntesis y jerarquización de la información contenida en el manuscrito. Estas herramientas no fueron empleadas para generar datos experimentales, modificar resultados, fabricar referencias, realizar análisis estadísticos de manera autónoma ni sustituir el juicio científico de los autores.

La conceptualización del estudio, el diseño experimental, el desarrollo e implementación del prototipo, la recolección y validación de los datos, la interpretación de los resultados y la formulación de las conclusiones fueron realizadas por los autores. Todo contenido asistido mediante inteligencia artificial fue revisado, corregido y validado críticamente por el equipo investigador antes de su incorporación al manuscrito.

Los autores asumen plena responsabilidad por la exactitud, originalidad, integridad científica y contenido final del artículo.

Agradecimientos

En forma explícita se expresa el más sincero agradecimiento a quienes, con su invaluable apoyo y dedicación, han contribuido de manera significativa a este trabajo. Se agradece a Millaray Araya, apicultora del sector San Rafael; Fabián Heriberto Ríos Cubillo, apicultor de Hualañé; Luis Bello Martínez, apicultor del sector Lircay; Jeremías Isaac Ferrada Rodríguez, apicultor de Molina.

Fernando Tapia, Carlos Imas y Joaquín Aravena valoran profundamente su compromiso y dedicación, los cuales han sido fundamentales para el desarrollo de este proyecto.

REFERENCIAS

- 3Bee. (s. f.). 3Bee: Tecnología para la biodiversidad. Recuperado el 13 de julio de 2026, de <https://www.3bee.com/es/>
- Alvarez, L., & Jiménez, A. (2017). Influencia de las condiciones ambientales en la presentación de ascosferosis (*Ascosphaera apis*) o cría de cal en *Apis mellifera*. *Abanico Veterinario*, 7(3), 24–33. <https://doi.org/10.21929/abavet2017.73.4>
- BeeHero. (s. f.). Precision pollination and hive monitoring. Recuperado el 13 de julio de 2026, de <https://www.beehero.io/>
- Beenalytics. (s. f.). Sistema de monitoreo remoto de colmenar. Recuperado el 13 de julio de 2026, de <https://beenalytics.com/es>
- Beewise. (s. f.). Saving bees to feed the world. Recuperado el 13 de julio de 2026, de <https://beewise.ag/home>
- Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (s. f.). Clima y vegetación de Chile. Recuperado el 13 de julio de 2026, de <https://www.bcn.cl/siit/nuestropais/clima.htm>

- Brittain, C. A., Vighi, M., Bommarco, R., Settele, J., & Potts, S. G. (2010). Impacts of a pesticide on pollinator species richness at different spatial scales. *Basic and Applied Ecology*, 11(2), 106–115. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2009.11.007>
- BroodMinder. (s. f.). Every hive counts: Remote hive monitoring. Recuperado el 13 de julio de 2026, de <https://broodminder.com/>
- Crozier, J. O. (2019). Manual técnico de apicultura. Dirección de Ciencia y Tecnología Agropecuaria, Secretaría de Agricultura y Ganadería. <https://dicta.gob.hn/files/2019%2CManual-tecnico-de-apicultura.pdf>
- Dimate Moreno, E. E. (2023). Evaluación de parámetros internos y externos de las colonias de abejas *Apis mellifera* africanizada como posibles indicadores de bienestar en el apiario de la Universidad Antonio Nariño, sede Usme, Bogotá [Tesis de maestría, Universidad Antonio Nariño]. Repositorio Institucional Universidad Antonio Nariño. <http://repositorio.uan.edu.co/handle/123456789/8161>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (s. f.). Acción global sobre los servicios de polinización para una agricultura sostenible. Recuperado el 13 de julio de 2026, de <https://www.fao.org/pollination/about/es>
- Gallai, N., Salles, J.-M., Settele, J., & Vaissière, B. E. (2009). Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. *Ecological Economics*, 68(3), 810–821. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.06.014>
- García Cárdenas, S. E. (2023). Diseño e implementación de un sistema telemétrico en colmenas de abejas para el envío de alertas y regulación de temperatura automática en el centro experimental Wayllapampa [Tesis de grado, Universidad Ricardo Palma]. Repositorio Institucional de la Universidad Ricardo Palma. <https://hdl.handle.net/20.500.14138/6555>

- Gualotuña Guachamín, J. G. (2017). Sistema de control y monitoreo remoto de colmenas de abejas para la empresa “Odres Honey”, ubicada en la parroquia de Amaguaña, cantón Quito, provincia de Pichincha [Trabajo de titulación, Universidad Técnica de Cotopaxi]. Repositorio Institucional de la Universidad Técnica de Cotopaxi.
<http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/5612>
- Harris, J. W., Harbo, J. R., Villa, J. D., & Danka, R. G. (2003). Variable population growth of *Varroa destructor* (Mesostigmata: Varroidae) in colonies of honey bees (Hymenoptera: Apidae) during a 10-year period. *Environmental Entomology*, 32(6), 1305–1312.
<https://doi.org/10.1603/0046-225X-32.6.1305>
- Jean-Prost, P., & Médori, P. (2007). *Apicultura: Conocimiento de la abeja y manejo de la colmena* (4.^a ed.). Mundi-Prensa.
- Jerí Alejos, F. (2023). Diseño e implementación de un sistema telemétrico en colmenas de abejas para el envío de alertas y regulación de temperatura automática en el centro experimental Wayllapampa [Tesis de grado, Universidad Ricardo Palma]. Repositorio Institucional de la Universidad Ricardo Palma. <https://hdl.handle.net/20.500.14138/6553>
- Kronenberg, F., & Heller, H. C. (1982). Colonial thermoregulation in honey bees (*Apis mellifera*). *Journal of Comparative Physiology B*, 148(1), 65–76.
<https://doi.org/10.1007/BF00688889>
- Lázaro, A., & Tur, C. (2018). Los cambios de uso del suelo como responsables del declive de polinizadores. *Ecosistemas*, 27(2), 23–33. <https://doi.org/10.7818/ECOS.1378>
- Li, Z., Huang, Z. Y., Sharma, D. B., Xue, Y., Wang, Z., & Ren, B. (2016). Drone and worker brood microclimates are regulated differentially in honey bees, *Apis mellifera*. *PLOS ONE*, 11(2), e0148740. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0148740>
- McKinney, M. L. (2002). Urbanization, biodiversity, and conservation. *BioScience*, 52(10), 883–890. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2002\)052%5B0883:UBAC%5D2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2002)052%5B0883:UBAC%5D2.0.CO;2)

- Ministerio de Energía de Chile. (s. f.). Explorador Solar. Recuperado el 13 de julio de 2026, de <https://solar.minenergia.cl/>
- Mondragón, L. (1989). Las razones evolutivas de las abejas africanas y europeas. *Ciencias*, 16. <https://www.revistacienciasunam.com/en/164-revistas/revista-ciencias-16/1436-las-razones-evolutivas-de-las-abejas-africanas-y-europeas.html>
- Obeso, J. R., & Herrera, J. M. (2018). Polinizadores y cambio climático. *Ecosistemas*, 27(2), 52–59. <https://doi.org/10.7818/ECOS.1371>
- Pérez Méndez, C. (2014). Análisis, diseño e implementación de un sistema de control para mejorar el rendimiento de una colmena [Trabajo de fin de grado, Universidad de La Laguna]. Repositorio Institucional de la Universidad de La Laguna. <http://riull.ull.es/xmlui/handle/915/243>
- Ros, J. (2009). Iniciación a la apicultura. Consejería de Agricultura y Agua, Comunidad Autónoma de la Región de Murcia.
- Seeley, T. D. (2019). *The lives of bees: The untold story of the honey bee in the wild*. Princeton University Press.
- Servicio Agrícola y Ganadero. (2024). Boletín Apícola N.º 9. <https://www.sag.gob.cl/content/boletin-apicola-ndeg-9-mayo-2024>
- Seshadri, A., & Walker, T. (2019). Manejo integrado de colmenas para apicultores en Colorado: Estrategias para identificar y mitigar plagas y enfermedades que afectan a las abejas en Colorado (2.ª ed.). Colorado State University Extension.
- Stabentheiner, A., Kovac, H., & Brodschneider, R. (2010). Honeybee colony thermoregulation: Regulatory mechanisms and contribution of individuals in dependence on age, location and thermal stress. *PLOS ONE*, 5(1), e8967. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0008967>

- Stabentheiner, A., Kovac, H., Mandl, M., & Käfer, H. (2021). Coping with the cold and fighting the heat: Thermal homeostasis of a superorganism, the honeybee colony. *Journal of Comparative Physiology A*, 207, 337–351. <https://doi.org/10.1007/s00359-021-01464-8>
- Superintendencia de Electricidad y Combustibles. (2020). Pliego técnico normativo RIC N.º 05: Medidas de protección contra tensiones peligrosas y descargas eléctricas. <https://www.sec.cl/sitio-web/wp-content/uploads/2021/01/RIC-N05-Medidas-de-Proteccion-Contra-Tensiones-Peligrosas.pdf>
- Walton, A., Herman, J. J., & Rueppell, O. (2024). Social life results in social stress protection: A novel concept to explain individual life-history patterns in social insects. *Biological Reviews*, 99(4), 1444–1457. <https://doi.org/10.1111/brv.13074>
- World Organisation for Animal Health. (2021). Varroosis of honey bees: Infestation of honey bees with *Varroa* spp. En *Manual of diagnostic tests and vaccines for terrestrial animals* (cap. 3.2.7). https://www.woah.org/fileadmin/Home/fr/Health_standards/tahm/3.02.07_VARROOSIS.pdf
- World Organisation for Animal Health. (2024). Nosemosis of honey bees. En *Manual of diagnostic tests and vaccines for terrestrial animals* (cap. 3.2.4). https://www.woah.org/fileadmin/Home/fr/Health_standards/tahm/3.02.04_NOSEMOSIS.pdf