



Universidad de Valladolid
Campus de Palencia

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍAS AGRARIAS**

Máster en Ingeniería de Montes

**Investigación y desarrollo de colmenas
Sostenibles y Conectadas: Innovación en
Aislamiento e Integración de Redes
Sensoriales**

Alumno: Rubén de Prado Jimeno

**Tutora: María Milagrosa Casado Sanz
Cotutor: Juan Francisco Fuentes Pérez**

Septiembre de 2025

Agradecimientos

Gracias a la confianza y el apoyo de mis tutores, ha sido posible emprender esta investigación en apicultura, un campo con escasa presencia en el ámbito forestal aunque con una importante conexión con este sector. Desde el inicio del proyecto, mi tutora Milagros impulsó la propuesta con entusiasmo, gestionó la financiación y los medios necesarios y me acompañó en todas las fases del trabajo. La colaboración de mi cotutor Juan Francisco fue esencial en el diseño, construcción y funcionamiento de la red sensorial, así como en mi formación investigadora, brindándome un asesoramiento constante. A ambos agradezco también su participación en la instalación de la red en campo y su labor de supervisión y guía a lo largo de este proyecto. Quiero destacar también el excelente trabajo de José Alberto, técnico del Laboratorio de Maderas, cuya implicación fue clave en la fabricación del material de madera y fibras ensayado en laboratorio y campo. También quiero expresar el agradecimiento a mis padres, Manuel y Mercedes, y a mi hermano Víctor, por su apoyo incondicional a mi formación y emprendimiento apícola, así como su ayuda en el pesaje de la miel en campo.

ÍNDICE

1. Introducción.....	1
1.1. La abeja melífera y sus mecanismos de homeostasis térmica.....	1
1.2. Colmenas y materiales de confección.....	3
1.3. Digitalización apícola.....	5
2. Material y métodos.....	6
2.1. Ensayo de laboratorio.....	6
2.2. Ensayo de campo.....	9
2.3. Análisis de datos.....	13
3. Resultados y discusión.....	15
3.1. Ensayo de laboratorio.....	15
3.2. Ensayo de campo.....	19
3.2.1. Producción de miel y propóleo.....	19
3.2.2. Temperatura interior media diaria.....	20
3.2.3. Temperatura interior máxima diaria.....	23
3.2.4. Temperatura interior mínima diaria.....	25
4. Conclusiones.....	29
5. Bibliografía.....	30
6. Anexos.....	43
Anexo I. Prototipo de colmena aislante instalada en campo.....	43
Anexo II. Modelo de utilidad registrado.....	45

Índice de figuras

Figura 1: A) Racimo invernal en colmena B) Temperatura en panal con racimo invernal	2
Figura 2: Invernación en las abejas melíferas	3
Figura 3: Esquema de colmena Langstroth	4
Figura 4: A) Diseño del experimento B) Montaje del experimento	7
Figura 5: Instalación del material aislante en las colmenas de estudio	7
Figura 6: Arquitectura de los sensores diseñados.....	8
Figura 7: Apiario de estudio en Valencia de Don Juan (León).....	9
Figura 8: Prototipo aislante diseñado (delante) y colmena control (detrás).....	9
Figura 9: Ubicación central de las colmenas de estudio con nodos exteriores que monitorizan su temperatura	10
Figura 10: Pesaje de los cuadros con miel y las mallas con propóleo	10
Figura 11: Sistema de comunicación de la red sensorial en campo	11
Figura 12: Posición de las sondas de temperatura interior en una ubicación central entre el 5º y 6º cuadro de las colmenas monitorizadas.....	12
Figura 13: Distribución del periodo fenológico.....	14
Figura 14: Representación gráfica de las variables de temperatura exterior e interior obtenidas en el ensayo de laboratorio	16
Figura 15: A) Gráfico con medias de la relación área / grosor para cada tipo de material aislante. B) Gráfico con medias de la temperatura interior máxima tras 1 h a 60 °C de temperatura exterior	18
Figura 16: A) Gráfico con la producción de miel por tipo de colmena. B) Gráfico con la producción de propóleo por tipo de colmena	19
Figura 17: Diagrama de cajas con la temperatura media interior diaria	21
Figura 18: Diagrama de cajas con la temperatura máxima interior diaria	23
Figura 19: Temperatura del día 6 de octubre de 2023 en la zona del ensayo de campo	25
Figura 20: Diagrama de cajas con la temperatura mínima interior diaria	26

Índice de tablas

Tabla 1: Características de los materiales aislantes probados	6
Tabla 2: Registros aislados de pecoreo en periodo invernal	15
Tabla 3: Estadística descriptiva y resultados del ANOVA para las variables: área / grosor y temperatura interior tras 1 h a 60 °C	17
Tabla 4: Estadística descriptiva y resultados del ANOVA para las variables: producción media de miel (kg) y producción media de propóleo (kg)	19
Tabla 5: Estadística descriptiva y resultados ANOVA para la temperatura media interior diaria	21
Tabla 6: Estadística descriptiva y resultados ANOVA para la temperatura máxima interior diaria	23
Tabla 7: Valores absolutos de temperatura interior máxima registrados	24
Tabla 8: Estadística descriptiva y resultados ANOVA para la temperatura mínima interior diaria	26
Tabla 9: Valores absolutos de temperatura interior mínima registrados	27

Resumen

El sector apícola avanza hacia la creación de entornos más naturales y optimizados para la homeostasis de las abejas melíferas, con el fin de reducir la dependencia de factores ambientales externos. Mejorar las condiciones térmicas en el interior de la colmena puede incrementar la supervivencia y la productividad, especialmente en un contexto de cambio climático. Aunque el mercado ofrece mayoritariamente colmenas de madera de pino, algunas propuestas incorporan poliestireno para reforzar el aislamiento en condiciones ambientales extremas. Sin embargo los materiales plásticos presentan limitaciones de sostenibilidad y de compatibilidad con la producción ecológica. El objetivo de este trabajo ha sido desarrollar un prototipo de colmena aislante a partir del estudio en laboratorio de distintas fibras (lana mineral de roca, panel de fibras de madera, corcho aglomerado negro y corcho aglomerado blanco) y evaluar posteriormente en campo el efecto de añadir corcho aglomerado blanco a la colmena mediante una red sensorial que monitoriza la temperatura interior y exterior. Además se cuantificó la producción de miel y propóleo entre colmenas aislantes y colmenas control. Los ensayos de laboratorio han mostrado un aumento significativo del aislamiento térmico en los materiales evaluados. En campo, no se detectaron diferencias claras en la temperatura interior, dadas las limitaciones de emplear un único sensor por colmena. No obstante, las colmenas con aislamiento de corcho produjeron significativamente más miel, sin diferencias en la producción de propóleo. Estos resultados sugieren que reforzar el aislamiento térmico podría reducir el gasto energético necesario para mantener la homeostasis y, en consecuencia, incrementar la producción de miel.

Palabras clave: apicultura, abeja melífera, colmena, aislamiento térmico, red sensorial

Abstract

The beekeeping sector is moving toward creating more natural, optimized environments for the homeostasis of honey bees to reduce dependence on external environmental factors. Improving thermal conditions inside the beehive can increase survival and productivity, especially in the context of climate change. Although most commercial hives are made of pine wood, some proposals incorporate polystyrene to enhance insulation under extreme conditions. However, plastic materials present sustainability issues and are not fully compatible with organic production.

This study aimed to develop an insulating hive prototype based on laboratory testing of different fibers (rock mineral wool, wood fiberboard, black agglomerated cork and white agglomerated cork) and to evaluate in the field the effect of adding white agglomerated cork to the hive using a sensor network that monitors internal and external temperatures. We also quantified honey and propolis production between insulated hives and control hives. Laboratory tests showed a significant increase in thermal insulation with the evaluated materials. In the field, no clear differences were detected in internal temperature, given the limitation of using a single sensor per hive. Nevertheless, cork-insulated hives produced significantly more honey, with no differences in propolis production. These results suggest that reinforcing thermal insulation could reduce the energy expenditure required to maintain homeostasis and, consequently, increase honey production.

Keywords: apiculture, honey bee, hive, thermal insulation, sensor network

1. Introducción

1.1. La abeja melífera y sus mecanismos de homeostasis térmica

La abeja melífera (*Apis mellifera* Linnaeus, 1758) es un insecto himenóptero y polinizador generalista (Goulson, 2003; Valido et al., 2019), que junto a otros polinizadores contribuye a la polinización del 35% de la producción global de cultivos (Klein et al., 2007). Este servicio ecosistémico tiene un valor económico estimado en 351.000 millones de dólares (USD) anuales (Lautenbach et al., 2012). En el ámbito productivo, la abeja melífera constituye la principal especie de interés zootécnico del sector apícola: en España representa el 0,44% de la producción final ganadera y el 0,17% de la producción de la rama agraria, con un valor anual de exportaciones estimado en 107,3 millones de euros (2023) y 99,4 millones de euros (2024) (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 2025b). A escala global, el valor económico de la apicultura en 2024 se sitúa según diversas fuentes entorno a 10-12 mil millones de dólares estadounidenses (Fortune Business Insights, 2025; Global Market Insights, 2025).

La abeja melífera además se ve seriamente afectada por el cambio global, debido al impacto de los productos agroquímicos nocivos (Ricke et al., 2021), la aparición de especies invasoras como *Varroa destructor* Anderson y Trueman, 2000 (Rosenkranz et al., 2010) o *Vespa velutina* Lepeletier, 1836 (Leza et al., 2019), y el cambio climático (Bordier et al., 2017; Flores et al., 2019; Cunningham et al., 2022; Min et al., 2024; Ostwald et al., 2024; Rajagopalan et al., 2024), entre otros factores.

El cambio climático puede influir en aspectos relevantes del ciclo vital de la abeja melífera, como son su fisiología y comportamiento, la comunidad vegetal de la que nutricionalmente depende, la interacción patógeno-abeja y la emergencia de especies invasoras (Le Conte y Navajas, 2008). La abeja melífera forma colonias sociales que funcionan como superorganismos, con una fuerte capacidad de termorregulación orientada a mantener la homeostasis térmica (Stabentheiner et al., 2021). Esta homeostasis es esencial en los panales de cría, donde las larvas de abeja requieren un rango de temperatura interna que, según distintas fuentes, se sitúa entre 30,7-37 °C (Kraus et al., 1998) o 33-36 °C (Kleinhenz et al., 2003). En general, se acepta una media óptima cercana a 34,5 °C (Himmer, 1927; Jones et al., 2005). Variaciones de pocos grados respecto a este óptimo afectan al rendimiento y comportamiento de las futuras abejas obreras adultas (Becher et al., 2009).

Las abejas melíferas logran la homeostasis térmica mediante varios mecanismos complementarios. A nivel individual, suelen mantener una temperatura torácica por encima de la ambiental (Kovac y Schmaranzer, 1996) transfiriendo calor al conjunto de la colonia (Harrison, 1987). No todas cumplen la misma función endotérmica (Kleinhenz et al., 2003), en parte por la división del trabajo (Stabentheiner et al., 2010). Cuando el interior de la colmena se enfría, incrementan la temperatura del nido de cría generando calor por vibración de sus músculos torácicos, comportamiento denominado “shivering” (Esch et al., 1991). Además, de forma local, pueden favorecer la transferencia de calor por conducción al contactar directamente con los panales de cría (Bujok et al., 2002). Si la temperatura exterior desciende por debajo de 11,2 °C forman un racimo invernal (Barmak et al., 2023), conocido también como “cluster”. Todas las abejas del racimo liberan calor metabólico de forma pasiva, pero las del núcleo (donde se haya la reina y su posible cría), actúan de forma endotérmica, generando calor activo mediante “shivering” para mantener una temperatura adecuada (Stabentheiner et al., 2003) con un valor central del racimo de 27,39 °C $\pm$ 3.03 °C (Barmak et al., 2023). Hacia la periferia del racimo se reduce el

número de abejas endotérmicas, formando una capa exterior que actúa como aislante (Stabentheiner et al., 2003) con valor medio de $15.09\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1.21\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Barmak et al., 2023). Esta distribución de temperatura del centro del racimo al exterior se ha observado mediante integración de sensores en los panales de la colmena por Barmak et al., 2023, según muestra la siguiente figura:

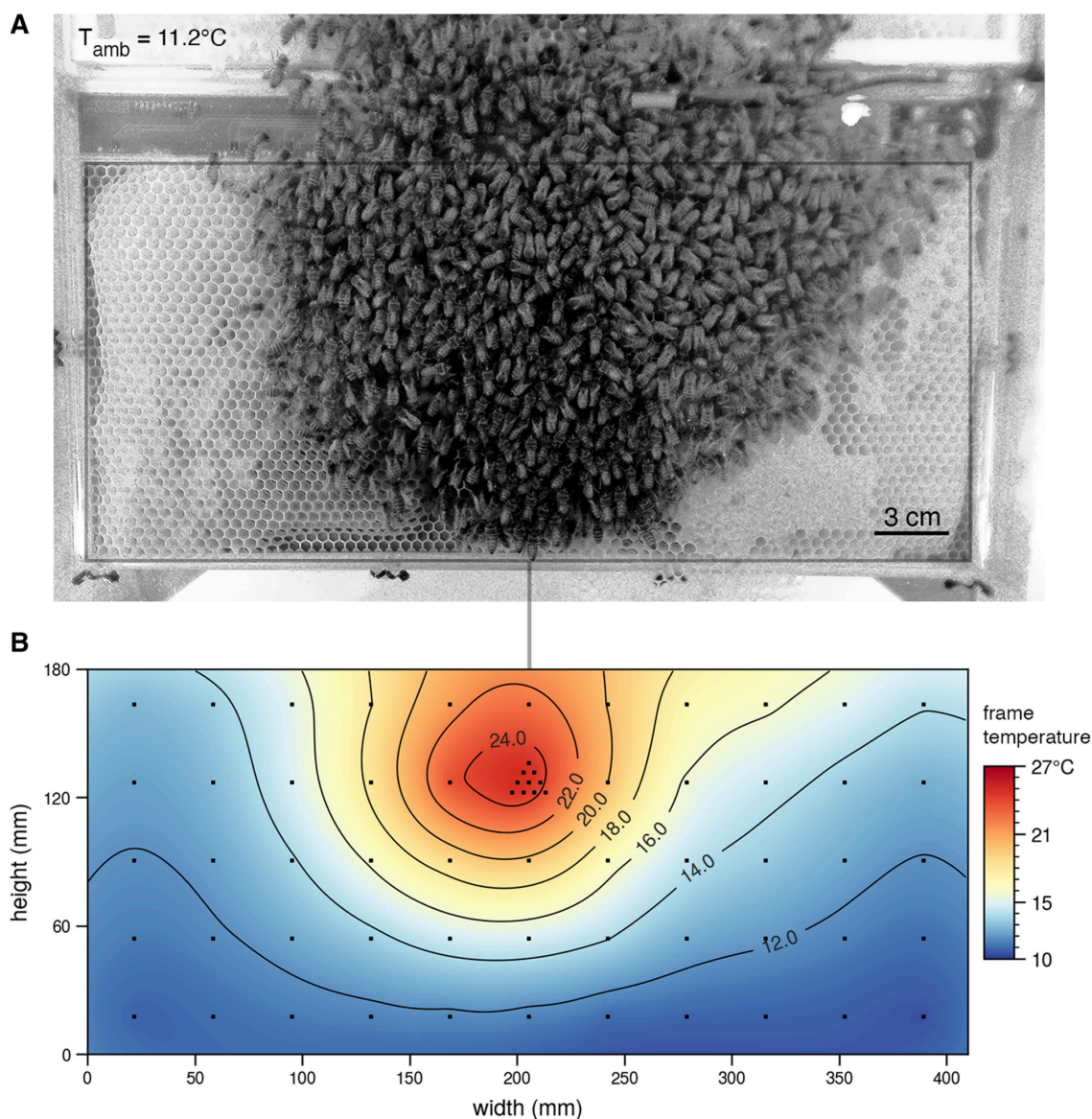


Figura 1: A) *Racimo invernal en colmena* B) *Temperatura en panal con racimo invernal* (Barmak et al., 2023).

Cuando la temperatura en la periferia del racimo disminuye de $10\text{ }^{\circ}\text{C}$, las abejas se desplazarán al interior para intercambiar posiciones y así evitar el colapso por coma fría (Mitchell, 2023). Este fenómeno puede iniciarse por debajo de $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Free y Spencer-Booth, 1960) o $12,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ (De Joy, 1998), aunque su ocurrencia es más frecuente bajo $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Free y Spencer-Booth, 1960). A lo largo de la temporada fría, el racimo invernal puede modificar su forma, densidad y posición en función de la temperatura ambiental (Severson y Erickson, 1990; Barmak et al., 2023), permitiendo el acceso a las reservas de miel necesarias para el metabolismo y la consiguiente

termorregulación (Norrström et al., 2021). Además las abejas sellan huecos y grietas con cera y propóleo para evitar pérdidas de calor por ventilación (Kuropatnicki et al., 2013).

En la situación contraria, de sobrecalentamiento del nido en verano, las abejas activan diversas estrategias para reducir la temperatura interna cuando esta supera el umbral máximo de confort térmico, establecido en 37 °C (Kraus et al., 1998). Por encima de 38 °C existe riesgo de pérdida de viabilidad del esperma en la abeja reina (McAfee et al., 2020) y a partir de 40 °C, la cera comienza su cambio de fase, alcanzando la fusión completa entorno a 60 °C (Buchwald et al., 2008). Entre los mecanismos de disipación térmica descritos figura el denominado “heat shielding”, mediante el cual las abejas utilizan sus cuerpos para disipar el calor procedente de las paredes internas calientes de la colmena (Starks y Gilley, 1999; Bonoan et al., 2014), y el “fanning”, consistente en batir las alas para generar corrientes de aire dentro de la colmena, favoreciendo la evaporación del néctar almacenado en los panales y del agua transportada por las obreras (Lindauer, 1955; Lindauer, 1961; Kühnholz y Seeley, 1997; Nicolson, 2009; Ostwald et al., 2016). Adicionalmente, parte de la población de la colonia puede salir al exterior para mejorar la ventilación (Southwick y Heldmaier, 1987), formando barbas en un comportamiento denominado “bearding” (Johnson, 2002; Rowe et al., 2025).

No obstante, la temperatura de las colonias de abejas fluctúa a lo largo del día (Kronenberg y Heller, 1982) y en regiones templadas, también según la estación, tal como muestra Minaud et al. (2024a) en la siguiente figura:

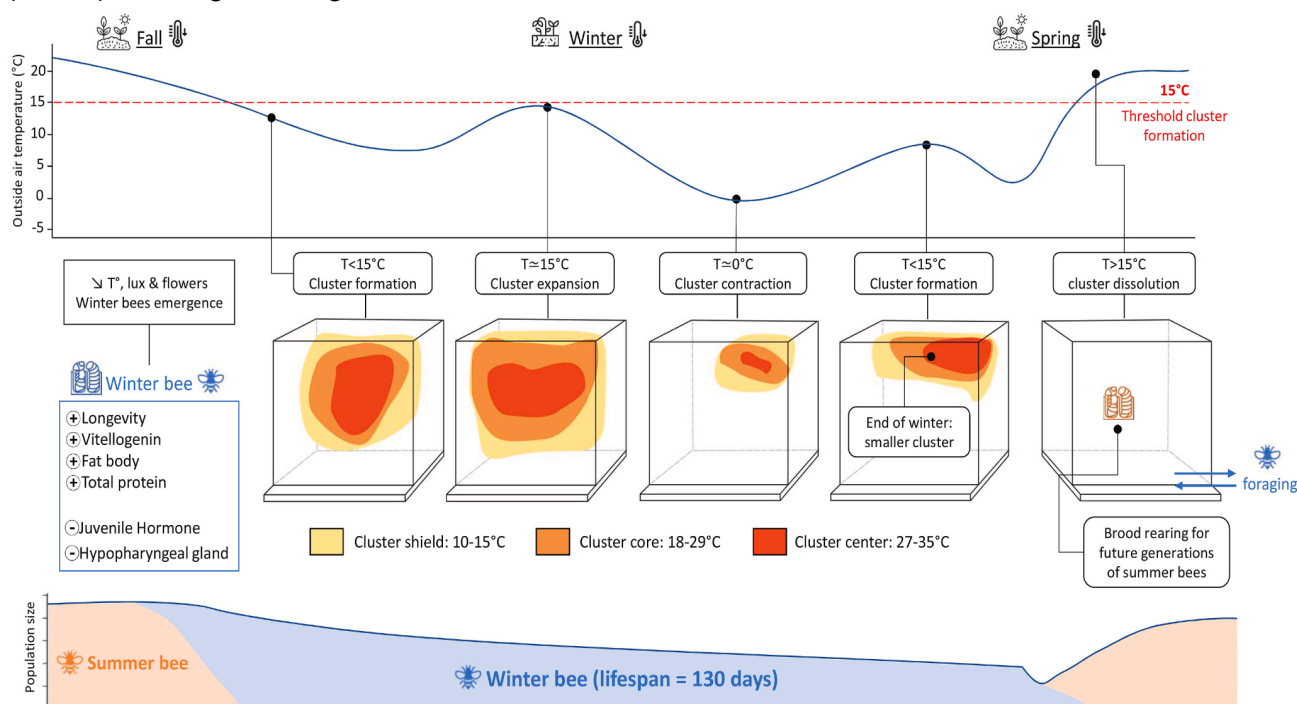


Figura 2: Invernación en las abejas melíferas (Minaud et al., 2024a).

1.2. Colmenas y materiales de confección

El desarrollo del sector apícola ha conducido a la estandarización de las dimensiones internas de las colmenas en torno a un tamaño de marco regular, fabricándose principalmente con maderas blandas, sobre todo pino y abeto (Dupleix et al., 2020; Rubiano-Navarrete et al., 2022). Las colmenas más comunes cuentan con marcos móviles (Fels et al., 2019), y existen diversas

variantes, como Langstroth, Dadant y Layens, que difieren principalmente en sus dimensiones y en la disposición de sus módulos. La colmena “Langstroth” o “perfección” (*Figura 3*), creada por Lorenzo Langstroth en 1852, es la más utilizada a nivel mundial (Kumar Gupta et al., 2014). Su principal innovación fue el descubrimiento del denominado “espacio de abeja”, comprendido entre $\frac{1}{4}$ y $\frac{3}{8}$ pulgadas (0,635-0,9525 cm), que al situarse entre los cuadros, impide a las abejas unir los panales entre sí o que construyan otros nuevos en dicho espacio, facilitando mucho las labores de manejo por parte del apicultor (Johansson y Johansson, 1967). Además, la incorporación de cuadros y alzas o medias alzas móviles, fácilmente intercambiables, permite realizar de manera eficiente las diversas tareas apícolas, como la revisión de la colmena, la aplicación de tratamientos sanitarios, la reproducción de la colonia y la extracción de productos apícolas. Finalmente, al estar dicha colmena conformada por varios módulos de menor tamaño que el resto de modelos habituales, su manipulación resulta más sencilla y ergonómica para un único trabajador.

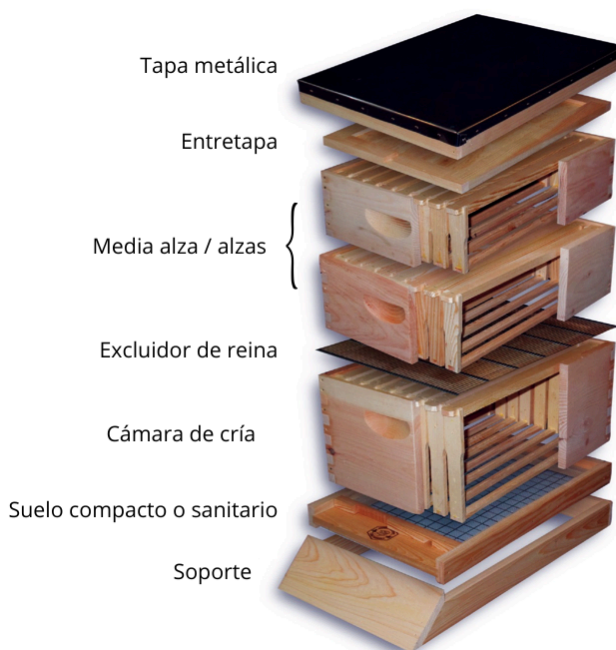


Figura 3: Esquema de colmena Langstroth (Lee Honey Bee, 2025).

La madera se ha consolidado como el material más empleado en apicultura por sus buenas propiedades mecánicas, su estabilidad, su facilidad de mecanización, su asequibilidad y unas propiedades aislantes satisfactorias. No obstante, existen otros materiales orgánicos, como el corcho o los paneles de fibra de madera, que podrían ofrecer propiedades aislantes superiores.

En las últimas décadas se han diseñado y probado colmenas fabricadas con materiales sintéticos como el poliestireno y el poliuretano, que ofrecen mejores resultados en climas fríos (Erickson y Salwei, 2020; Floris et al., 2020; Alburaki y Corona, 2021). Las colmenas de poliestireno presentan un aislamiento térmico mayor que las convencionales, aunque suponen desventajas relevantes: precio más elevado (Sadia et al., 2021), menor durabilidad (Erdoğan, 2019), baja sostenibilidad (Dupleix et al., 2020) asociada a contaminación del medio por microplásticos (Siddiqui et al., 2023) y su consecuente incompatibilidad en producción ecológica (Unión Europea, 2018). Por el contrario, las colmenas convencionales de madera no presentan estos inconvenientes. Paralelamente, se han explorado materiales alternativos, como el ferrocemento (Hobson Jr, 1983), el mortero de cemento y vermiculita (Lorenzon et al., 2004) o la arcilla reforzada (Lepkova et al., 2022).

Históricamente, la construcción de colmenas ha estado influida por la disponibilidad de materiales adecuados, como señala Crane (1999). Se emplearon desde materiales terrestres (barro secado al sol, arcilla cocida) hasta materiales de origen vegetal (troncos huecos, corteza de corcho, cilindros trenzados, tallos entablillados y tablas de madera). En las regiones mediterráneas fueron frecuentes los cilindros de corteza de corcho y troncos huecos de madera, popularmente llamados “truébanos”. Por sus propiedades aislantes superiores a las de la madera, el corcho desempeñó un papel importante en la construcción tradicional de colmenas. Aunque este material figura entre los primeros materiales empleados (Crane, 1994), existen pocas publicaciones que integren esta fibra natural en diseños modernos. Una excepción es Floris et al. (2020), quienes, en un ensayo de campo en Cerdeña (Italia), compararon colmenas de madera frente a colmenas con 3 cm de corcho aglomerado en su interior, observando un patrón de temperatura diaria más regular en estas últimas aislantes.

Una estrategia útil para estudiar con precisión la dinámica en la termorregulación de las colmenas por las abejas es el uso de sensores, según muestran diversos estudios (Gil-Lebrero et al., 2017; Zacepins et al., 2016; Nürnberger et al., 2018; Zaman y Dorin, 2023). Así mismo, el aislamiento de las colmenas se ha propuesto como un mecanismo para favorecer la homeostasis de la colonia tanto en invierno (Erdoğan, 2019; Floris et al., 2020; Alburaki y Corona, 2021; St. Clair et al., 2022) como en verano (Abou-Shaara et al., 2013; Al-Rajhi, 2017). Algunos estudios también han contemplado la influencia del color de la colmena en su absorción de calor por radiación (De Souza et al., 2015).

1.3. Digitalización apícola

En cuanto a la digitalización de la apicultura, se están desarrollando diversas soluciones tecnológicas basadas en sensores IoT (Internet de las Cosas) y algoritmos de aprendizaje automático (inteligencia artificial) para la monitorización de colmenas y la evaluación de procesos clave para el apicultor, como la enjambrazón, el riesgo de robo de colmena, la muerte de la abeja reina, la aparición de enfermedades, la falta de alimento o el momento óptimo de recolección de la miel.

Entre las iniciativas públicas destacan World Bee Project CIC en colaboración con la universidad británica de Reading (WBP CIC, 2025) y HiveOpolis en colaboración con seis universidades europeas y la startup Pollenity (HiveOpolis, 2025). Las iniciativas privadas están más centradas en la comercialización de equipos de monitoreo apícola incluyendo sensores de temperatura, humedad, peso, GPS, sonido, meteorología, paso de abejas, presión, CO₂, apertura de colmena e imágenes exteriores cuyos datos son transmitidos por red móvil o Wi-Fi para su posterior visualización y análisis vía app o web con diferentes productos y servicios cuyos precios fluctúan en el rango de 70-1300 € (3Bee, 2025; antifurto arnia, 2025; Arnia Perfetta, 2025; Atlas of the Future, 2025; BeeBuilt, 2025; Bee Hive Monitoring, 2025; Broodminder, 2025a; EIF, 2025; Forsage, 2025; Global Bee Project, 2025; Hivemind, 2025; HiveWatch, 2025; HyperHyve, 2025; loBee, 2018; loBee, 2025; smartbee, 2025; The Yield Lab, 2025).

La monitorización de colmenas mediante redes sensoriales puede mejorar la gestión apícola al proporcionar indicadores del estado sanitario de la colmena y posibilitar un manejo adaptativo del apiario orientado a la apicultura de precisión (Cota et al., 2023), reduciendo riesgos asociados a condiciones ambientales desfavorables y a afecciones de la salud apícola (Rodías y Kilimpas, 2024). Conocer la temperatura interna y su estabilidad permite verificar la homeostasis y, por

tanto, el estado de salud de la colonia de abejas (Hong et al., 2020), ya que un mayor nivel poblacional, determinado por una mayor cantidad de cría, mejora la regulación térmica (McVeigh et al., 2022). Además, dado que las abejas requieren un calentamiento previo al vuelo (Stone y Wilmer, 1989), los aumentos súbitos de temperatura interior detectados por sensores pueden anticipar la enjambración (Zacepins et al., 2016). La humedad interior es un factor de gran importancia para el desarrollo larvario (Lindauer, 1955) ya que debe superar el 50% para permitir la eclosión de los huevos (Doull, 1976) aunque valores demasiado altos, por encima del 80% (Liang et al., 2000) incrementan el riesgo de aparición de enfermedades como la ascosferosis *Ascosphaera apis* (Maasen ex Claussen) L.S. Olive & Spiltoir (Flores et al., 1996). Esta humedad se regula mediante la evaporación del agua presente en el néctar transportado y el propio aporte de agua a la colmena desde fuentes cercanas (Ostwald et al., 2016). En consecuencia, el monitoreo de la humedad interior aporta información útil sobre el agotamiento de néctar en el entorno o la disponibilidad de agua cercana, especialmente en estaciones o climas cálidos. Por su parte, el monitoreo del peso de la colmena ayuda a evaluar la población de abejas, reservas de miel y momento de pecoreo (Hong et al., 2020). También existen otros sensores con menor aplicación en el monitoreo de colmenas por su coste y complejidad, tales como detectores de gases, imagen térmica, infrarroja, GPS, aceleración, vibración e intensidad de luz (Zaman y Dorin, 2023).

El objetivo de este estudio ha sido desarrollar una colmena aislante mediante el análisis comparativo en laboratorio de diferentes materiales aislantes naturales en una colmena tipo Langstroth sometida a una fuente de calor controlada. Además se ha incorporado una red sensorial basada en tecnología abierta para monitorizar la temperatura interior en el colmenar y verificar la mejora aislante térmica del prototipo diseñado, junto al registro de la producción de miel y propóleo.

2. Material y métodos

2.1. Ensayo de laboratorio

Se ha seleccionado de partida el modelo de colmena Langstroth de cuadros móviles, ampliamente utilizado a nivel mundial (FAO et al., 2021). La elección de los materiales aislantes se basó en criterios de sostenibilidad, disponibilidad regional y seguridad, priorizando alternativas naturales frente a aislantes sintéticos. Con estas premisas, se seleccionaron cuatro materiales aislantes de origen natural (corcho negro aglomerado, corcho blanco aglomerado, fibras de madera y lana mineral de roca) cuyas propiedades se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 1: Características de los materiales aislantes probados.

Material	Grosor (mm)	Densidad (kg/m ³)	Conductividad térmica (W/(m·K))	Referencia
Fibras de madera	8	60	0,038	Aislantes de Madera, 2025
Corcho aglomerado blanco	10	200-220	0,045	Bricork, 2025
Corcho aglomerado negro	13	100-120	0,036-0,038	Zero6, 2025
Lana de roca mineral	8	32	0,032	Knauf, 2025

Los ensayos de aislamiento térmico se llevaron a cabo en un entorno controlado, utilizando una cámara de madera construida a medida y equipada con una fuente de calor regulable (dos lámparas infrarrojas de 250 W) tal como se muestra en la *Figura 4*.

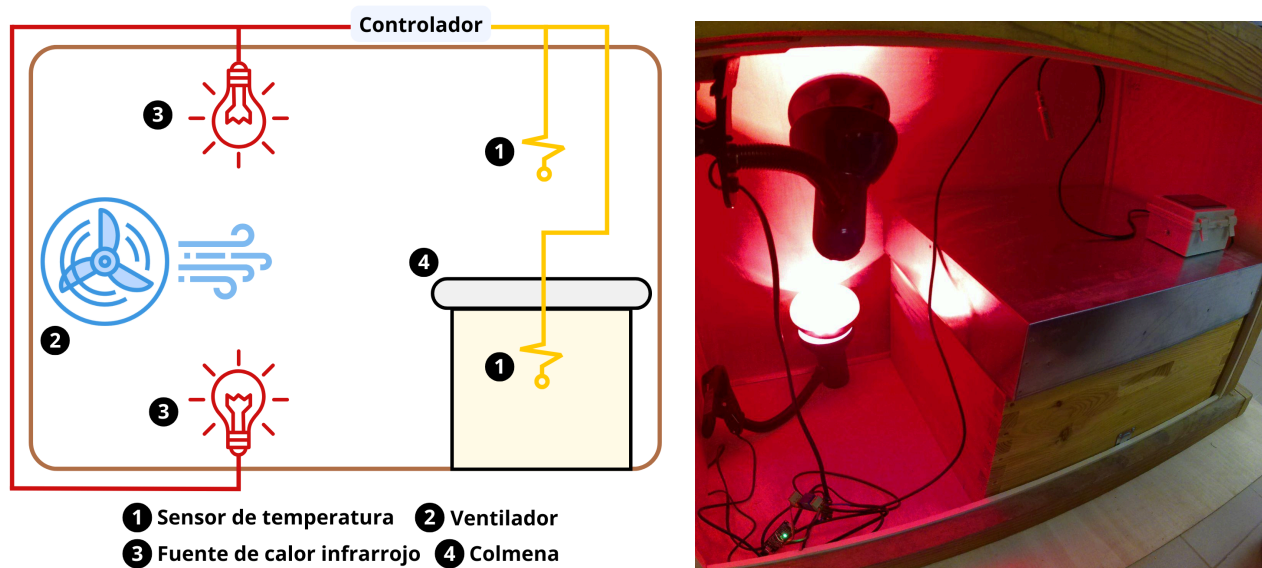


Figura 4: A) Diseño del experimento. B) Montaje del experimento.

Dentro de la cámara se colocaron colmenas equipadas con cada tipo de aislamiento, aplicado en las paredes laterales (*Figura 5*) y bajo la tapa metálica de la colmena. También se incluyó una colmena de control sin aislamiento, analizando por tanto cinco tratamientos diferentes. Cada tipo de tratamiento fue sometido a tres réplicas experimentales, resultando en un total de 15 experimentos.



Figura 5: Instalación del material aislante en las colmenas de estudio. Ejemplo con corcho negro aglomerado.

Cada experimento consistió en un ciclo de calentamiento a una temperatura objetivo de 60 °C durante 3 horas. Este valor fue seleccionado para superar la máxima temperatura ambiental global registrada (56,7 °C; El Fadli et al., 2013) y aproximarse a la temperatura de fusión de la cera (60-65 °C; Bernal et al., 2005; Kabir y Yola, 2020). Entre experimentos, se permitió que la cámara volviera a la temperatura ambiental antes de iniciar un nuevo ciclo. La regulación de la temperatura se logró mediante un sistema de control basado en una placa microcontroladora M0, un termómetro digital y un conjunto de relés. Este sistema mantuvo la temperatura con una precisión de ± 1 °C, apoyado por ventiladores que aseguraron una distribución uniforme del calor.

La temperatura de las colmenas y de la cámara se registró cada 30 segundos mediante un nodo sensor personalizado, desarrollado para la investigación y posteriormente empleado en el ensayo de campo para registrar y transmitir en tiempo real datos ambientales. Este nodo cuenta con una placa MC Sentinel V1.1 diseñada por la Universidad de Valladolid, que integra un microcontrolador ESP32, un RTC (DS3231), soporte para tarjetas SD y un sistema de autoalimentación (MyCircuits, 2023). Además, incluye un módulo de radio LoRa (Adafruit, 2025) y soporta una batería de litio con autonomía de un año para la transmisión de datos cada 15 minutos. Para la monitorización interna se utilizó un sensor SHT31 (Sensirion, 2025), mientras que las variables externas fueron medidas con los sensores AHT20 (Asair, 2025) y BMP280 (Bosch Sensortec, 2025). Adicionalmente, se probó una arquitectura más robusta, basada en un ordenador monoplaca Raspberry Pi 4, un microcontrolador Atmel ATSAMD21G18 y un módem 4G, diseñada para entornos más exigentes (Fuentes-Pérez et al., 2021). Todo el sistema fue programado en C mediante el IDE de Arduino y el coste de cada nodo con su montaje fue de 180 €.

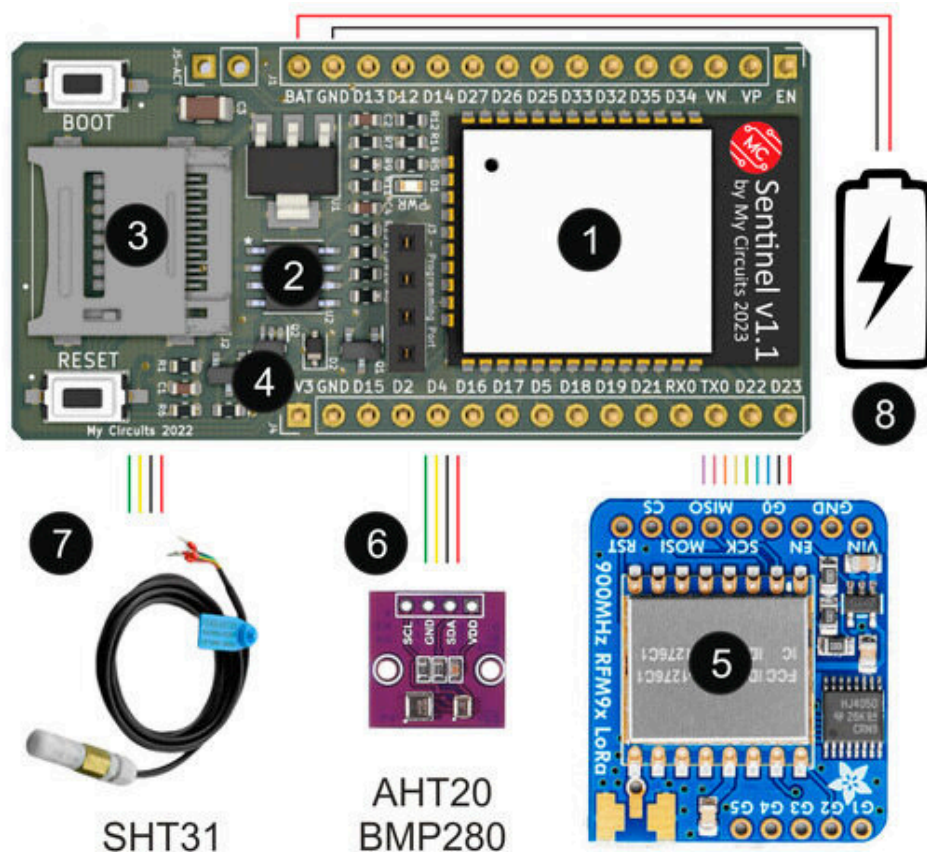


Figura 6: Arquitectura de los sensores diseñados: 1) ESP32, 2) RTC, 3) SD, 4) Autoapagado, 5) Módulo de radio, 6) Sensor de T^a externo, 7) Sonda de T^a interior, 8) Batería.

2.2. Ensayo de campo

Se instalaron seis colmenas de estudio en mayo de 2023 en un apiario localizado en Valencia de Don Juan (León) (*Figura 7*), incorporando colonias de abejas procedentes de enjambres obtenidos en el mismo año 2023, con igual procedencia genética y tamaño poblacional.



Figura 7: Apiario de estudio en Valencia de Don Juan (León).

Tres de las colmenas se utilizaron como controles, mientras que las otras tres fueron equipadas con una camisa exterior aislante de corcho aglomerado blanco de 10 mm de grosor, material seleccionado por su facilidad de corte y su resistencia a las condiciones meteorológicas a lo largo del tiempo. El aislante de corcho fue cubierto por una plancha de tablero OSB (Oriented Strand Board) de 10 mm de grosor para mejorar aún más su resistencia. Este prototipo aislante tuvo un coste unitario de 30 €. En la siguiente figura se muestra una imagen del prototipo aislante final, cuyos planos se pueden visualizar en el *Anexo I*. La instalación de la camisa exterior aislante fue realizada mediante tirafondos fácilmente desatornillables con un taladro de batería.



Figura 8: Prototipo aislante diseñado (delante) y colmena control (detrás).

Las 6 colmenas de estudio se situaron en el centro del apiario, minimizando así el efecto borde sobre la deriva de las abejas (Pfeiffer y Crailsheim, 1998). Todas las colonias recibieron un manejo estandarizado durante la temporada apícola, que incluyó igual alimentación suplementaria en períodos desfavorables, como el invierno, mismo tratamiento veterinario contra el parásito *Varroa destructor* y la recolección de productos en la misma fecha al final del verano.



Figura 9: Ubicación central de las colmenas de estudio con nodos exteriores que monitorizan su temperatura.

En el momento de recolección de miel y propóleo, se cuantificó su producción mediante el pesaje manual de los cuadros llenos de miel, excluyendo a las abejas. El peso neto de miel por cuadro se obtuvo restando al peso total el peso promedio de un cuadro vacío después de la extracción de miel.



Figura 10: A) Pesaje de los cuadros con miel. B) Pesaje de las mallas con propóleo.

En cada colmena de estudio se instaló un nodo equivalente al utilizado en el ensayo de laboratorio, que registra los datos en una tarjeta SD y los transmite a un “gateway” (puerta de enlace) mediante comunicación LoRa (*Figura 11*). El gateway, configurado con una placa ESP32 y un módulo LoRa, envía los datos a un servidor en tiempo real. El flujo de trabajo sincroniza las transmisiones de datos, conservando energía en los nodos mediante apagados temporales. Si un nodo no responde, el gateway intenta la comunicación de forma recursiva antes de emitir una alarma de gestión. Los datos recopilados se almacenan localmente y en un servidor en línea (mediante consultas HTTPS y MySQL), permitiendo su evaluación a largo plazo. Este sistema utilizado en nuestro estudio se basa en plataformas robustas utilizadas anteriormente en aplicaciones de investigación fluvial (Fuentes-Pérez et al., 2021) y está diseñado para un bajo mantenimiento y una alta durabilidad, empleando nodos base de radio en lugar de WiFi para garantizar un amplio alcance y logrando una transmisión de datos eficiente mediante el gateway centralizado. Tanto los nodos como las pasarelas se basan en tecnología de código abierto, lo que hace que el sistema no sólo sea personalizable, sino que también fomenta la participación de la comunidad en su mejora. El coste del gateway con montaje e instalación es de 200 € por colmenar, mientras que el coste de comunicación de otras iniciativas es de 120-200 € (Bee Hive Monitoring), 389 € (Forsage, 2025), 399 € (HiveWatch, 2025). Una estrategia de producción de nuestros nodos y puertas de enlace en masa, podría reducir costes de nuestra tecnología, haciendo más accesible la monitorización avanzada a una gama más amplia de apicultores.

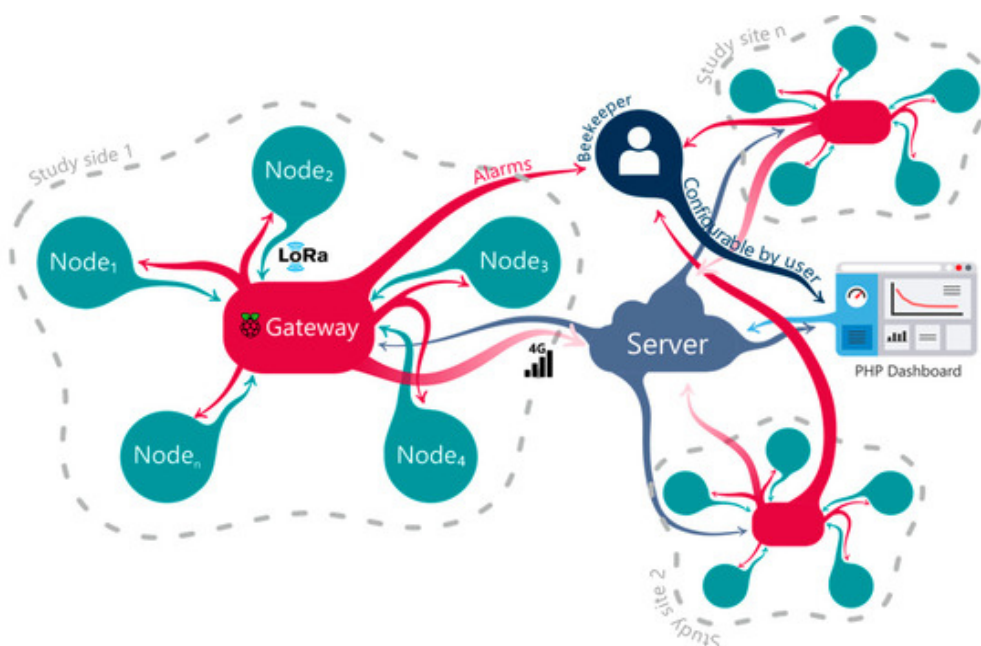


Figura 11: Sistema de comunicación de la red sensorial en campo.

Mediante la red sensorial se registró la temperatura interior y exterior de cada colmena con una frecuencia de 15 minutos (Stalidzans et al., 2002; Meikle et al., 2022), que varía en el resto de estudios desde 5-10 s (Senger et al., 2024) hasta 30 min (Li et al., 2016), según el objetivo de estudio. Dado que el propósito de esta investigación es evaluar la influencia del material aislante elegido (corcho aglomerado blanco) sobre la temperatura interior a lo largo de una temporada apícola, no se consideró necesaria una resolución temporal tan alta como en trabajos centrados en el estudio de procesos rápidos, como el enjambración o la muerte de la colonia (Senger et al., 2024).

La sonda de temperatura interior se instaló en la zona central de la cámara de cría, posicionada horizontalmente sobre la parte superior de los cuadros, concretamente entre el quinto y sexto de los diez existentes (Meikle et al., 2022; Broodminder, 2025b) (*Figura 12*).



Figura 12: Posición de las sondas de temperatura interior en una ubicación central entre el 5º y 6º cuadro de las colmenas monitorizadas. A) Abejas en posición de racimo en invierno. B) Abejas dispersas en primavera, con tratamiento contra la varroa.

Normalmente, las colonias sitúan el nido de cría en esta zona central (*Figura 1*, Barmak et al., 2023), rodeado de reservas de miel y polen que cumplen una función aislante (Seeley y Morse, 1976; Cook et al., 2021), aunque la ubicación inicial de la cría está condicionada más por la temperatura (Smith et al., 2024). La ubicación del sensor en los cuadros más externos puede reducir la perturbación sobre la cría, pero presenta la desventaja de estar más influenciada por la temperatura exterior, efecto que disminuye a medida que la colonia crece (Anwar et al., 2022). El uso de un único sensor en invierno puede limitar la fiabilidad de los datos (Zheng et al., 2024) debido a la variabilidad en la posición, tamaño y forma del racimo de abejas (Minaud et al., 2024b). Por ello, algunos estudios optan por la instalación de varios sensores distribuidos en diferentes cuadros (Cecchi et al., 2020; Cook et al., 2022; Senger et al., 2024), lo que aumenta la complejidad del diseño experimental y el análisis de resultados. En este estudio, debido a limitaciones de presupuesto, se utilizó un único sensor por colmena, siguiendo la práctica de otros trabajos (Stalidzans y Berzonis, 2013; Kridi et al., 2016; Catania y Vallone, 2020) y empleando varias réplicas para reducir la variabilidad asociada a la localización de la cría (Meikle y Holst, 2015).

El sistema de monitorización junto al diseño aislante de la colmena prototipo fueron registradas como Modelo de Utilidad titulado “Colmena” por la Universidad de Valladolid a través de la Oficina Española de Patentes y Marcas (OEPM). En el *Anexo II* se muestra el documento del Modelo de Utilidad registrado con nº de solicitud U202430199 y nº de publicación ES1306584.

2.3. Análisis de datos

En el ensayo de laboratorio, cada tratamiento con un diferente aislante se realizó tres veces. Para garantizar la coherencia y facilitar las comparaciones entre experimentos, alcanzada la temperatura de 60 °C en la cámara estanca, se calculó la actividad térmica dentro de la colmena basándose en el área bajo la curva de temperatura desde el momento en que se alcanzaban 22 °C en el interior de la colmena, hasta 1 h después y se registró la temperatura máxima alcanzada. Este método se aplicó uniformemente en todas las réplicas para evaluar la eficacia de aislamiento térmico de los distintos materiales. Los datos se recogieron y almacenaron en archivos de texto independientes para cada prueba. Las evaluaciones gráficas iniciales de estos archivos ayudaron a determinar el inicio del experimento cuando se alcanzó la temperatura objetivo en la cámara (60 °C). Dado que los materiales comercializados empleados tienen grosores diferentes, a efectos de comparación se aplicó una normalización mediante el ratio del área bajo la curva de temperatura descrita entre el grosor del material (*Tabla 1*).

El análisis estadístico se realizó utilizando R versión 4.4.1, empleando un análisis de varianza (ANOVA) con el paquete “stats” versión 4.4.1 (R Core Team, 2024) para determinar las diferencias significativas entre el rendimiento de los materiales aislantes, garantizando un análisis comparativo sólido. Este método se eligió específicamente por su capacidad para manejar la varianza dentro de los grupos y entre ellos, lo que resulta ideal para nuestro diseño experimental. Tras la identificación de efectos significativos a través del ANOVA, con el paquete “agricolae” versión 1.3-7 (De Mendiburu, 2023) se utilizó la prueba de la diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher como análisis post hoc para explorar más a fondo las diferencias por pares entre las medias de los grupos.

En el ensayo de campo, se evaluaron las variables producción de miel y producción de propóleo en las tres réplicas correspondientes a cada tratamiento (control y material aislante). Estas variables fueron analizadas mediante un análisis de varianza (ANOVA) para identificar diferencias significativas entre las colmenas control y las colmenas aislantes. Al tratarse de únicamente dos grupos (colmena control y colmena aislante) no se aplicó ningún procedimiento post hoc, por no ser necesario dicho estadístico para examinar de manera detallada las diferencias por pares entre las medias de los grupos.

Los datos de temperatura interior y exterior de las colmenas, obtenidos de los seis nodos de la red sensorial, se acotaron al mismo periodo operativo (13/05/2023-11/02/2024) para su análisis, dado que a partir del 11 de febrero de 2024 las baterías de cada nodo fueron perdiendo autonomía. Las mediciones registradas cada 15 minutos se agruparon mediante el cálculo de su media diaria. Para comparar los resultados entre colmenas, fue necesario definir una variable que diferenciara los dos periodos fenológicos fundamentales en regiones templadas (Stalidzans et al., 2002; Zacepins et al., 2016; Cecchi et al., 2020): el periodo de pecoreo activo (que abarca parte de la primavera y el otoño, y todo el verano) y el periodo invernal de inactividad, caracterizado por la formación del racimo. La delimitación de estos periodos fenológicos se realizó a partir de la temperatura exterior media registrada por la red sensorial (media de los seis nodos). Como valor de transición se adoptó la temperatura mínima que permite el inicio del pecoreo en *Apis mellifera*. La bibliografía reporta valores variables para este límite, desde 6,57 °C (Tan et al., 2012) hasta 15

°C (Alves et al., 2015), pasando por 9,3 °C (Kang y Yung, 2024) y 12,7 °C (Kovac y Stabenthenier, 2011). Se optó por el valor de 12,7 °C, por corresponder al estudio realizado en condiciones climáticas continentales más similares y ubicación más cercana a la zona de estudio, a diferencia de los trabajos restantes, desarrollados en climas tropicales. Este valor, además, se aproxima a las temperaturas de formación del racimo invernal descritas por otros autores: 12 °C (Free y Spencer-Booth, 1960), 12,9 °C (De Joy, 1998) y 10 °C (Free y Spencer-Booth, 1960).

El efecto de la transición fenológica sobre el metabolismo de los insectos no se produce de manera abrupta, sino gradualmente y con cierta flexibilidad o latencia biológica (Terblanche et al., 2024), siendo modulada en el caso de las colonias de abejas por factores como la disponibilidad de polen y el fotoperiodo, que pueden adelantar o retrasar el desarrollo (Mattila et al., 2001; Knoll et al., 2020). Operativamente, a efectos de análisis, la separación entre pecoreo e invernada se realizó con el umbral de temperatura media diaria establecido en 12,7 °C (Kovac y Stabenthenier, 2011). No obstante, la aplicación directa de este filtro genera algunos registros aislados (*Tabla 2*, *Figura 13A*) que aparecen como pecoreo en pleno contexto invernal debido a oscilaciones térmicas puntuales.

Para analizar el efecto del aislamiento sin introducir ruido por esa latencia estacional, dichos días atípicos se reclasificaron al periodo circundante invernal (*Figura 13B*). Esta decisión metodológica reconoce que, aunque uno o varios días superen el umbral térmico, la colonia puede permanecer en racimo invernal por venir de días fríos y fotoperiodo decreciente, además de la posible escasez de polen (Mattila et al., 2001; Knoll et al., 2020). De este modo, la comparación entre fases resulta más coherente: actividad de pecoreo (primavera, verano y comienzos de otoño) frente a inactividad invernal (final de otoño e invierno), evitando que repuntes térmicos puntuales distorsionen el análisis del tratamiento aislante sobre la temperatura interior.

En términos prácticos, la *Figura 13A* refleja la clasificación estricta por umbral, esto es, con alternancia entre periodos. Mientras que la *Figura 13B* muestra la versión depurada tras la reclasificación de “días isla”, es decir, sin alternancia entre periodos, más acorde con la dinámica gradual y el comportamiento esperado de la colonia.

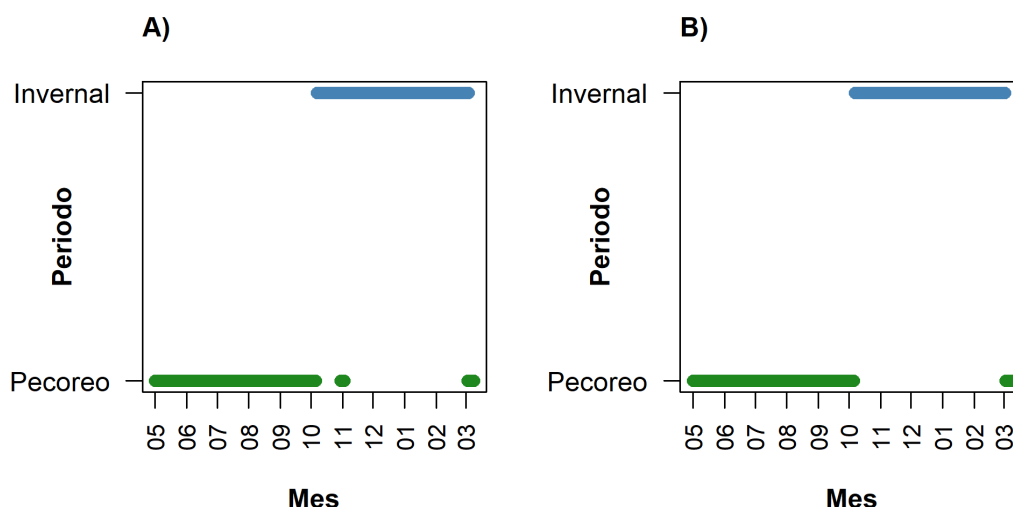


Figura 13: A) Distribución estricta del periodo fenológico con alternancia B) Reclasificación del periodo fenológico sin alternancia.

Tabla 2: Registros aislados de pecoreo en periodo invernal.

Fecha	Tª media exterior
2023-11-11	13,52
2023-11-13	12,89
2023-11-14	12,98
2023-11-15	13,66

Para estudiar la influencia de los periodos previamente descritos y el tratamiento aplicado (aislante de corcho aglomerado blanco y control) en la temperatura interior de la colmena, se utilizó un modelo mixto lineal (LMM), enfoque ampliamente utilizado en la investigación sensorica apícola (Holst y Meikle, 2018; Baird et al., 2021) especialmente en casos de predicción de temperatura (Nürnberg et al., 2018; Cook et al., 2022; Lu et al., 2026). El modelo mixto desarrollado en este caso utiliza la función ‘anova’ y ‘lme’ del paquete “nlme” versión 3.1-165 (Pinheiro y Bates, 2000; Pinheiro et al., 2024) mediante el entorno de R versión 4.4.1 (R Core Team, 2024). Este modelo mixto es mostrado en la siguiente ecuación:

$$T^a_{interior}_{ij} = \beta_0 + \beta_1 \cdot Aislante_i + \beta_2 \cdot Periodo_i + \beta_3 \cdot (Aislante_i \cdot Periodo_i) + u_j + \varepsilon_{ij}$$

Ecuación 1: Modelo mixto lineal aplicado en el estudio de la influencia del tratamiento aislante en la temperatura interior de la colmena bajo la consideración de dos periodos estacionales. La misma estructura de modelo fue aplicada en las variables temperatura interior máxima y mínima.

Donde “i” es la observación, “j” el nodo al que pertenece la observación, “ β_0 ” el intercepto global, “ β_1 ” el efecto fijo del aislante, “ β_2 ” el efecto fijo del periodo, “ β_3 ” el efecto de la interacción, “u” el efecto aleatorio del nodo y “ ε ” el error residual.

3. Resultados y discusión

3.1. Ensayo de laboratorio

Los resultados brutos de los ensayos de laboratorio de aislamiento exterior para cada material aislante se muestran en la *Figura 14*. La curva roja corresponde a la temperatura exterior aplicada mediante radiación infrarroja, que se estabiliza en torno al valor establecido de 60 °C. La curva verde muestra la temperatura interior de la colmena, cuyo incremento refleja la transmisión de calor a través del material aislante. En cada ensayo se señala el instante en que la temperatura interior alcanza 22 °C y se calcula el área (color amarillo) bajo la curva de la temperatura interior durante la primera hora, como valor representativo de la influencia térmica.

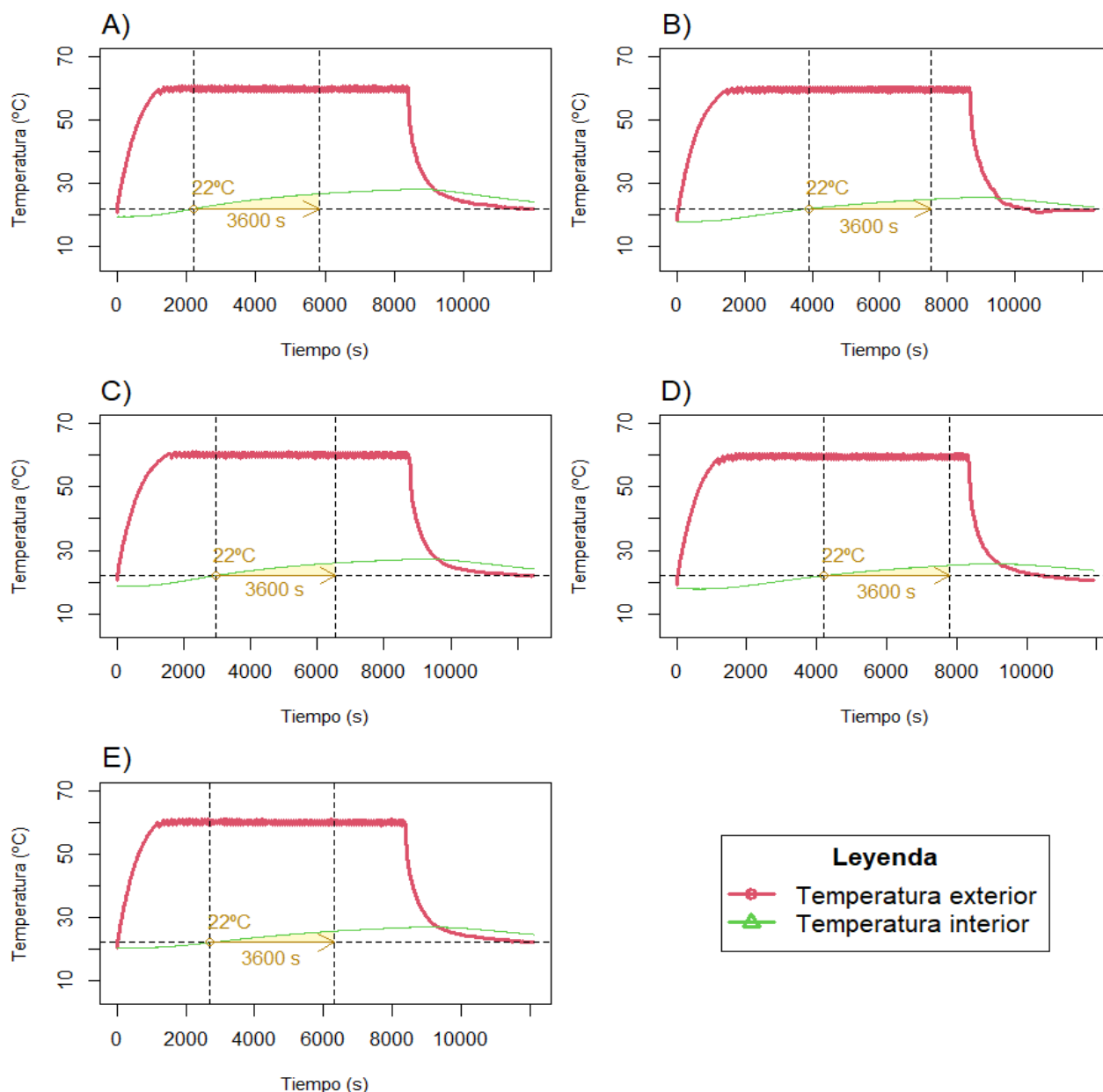


Figura 14: Representación gráfica de las variables de temperatura exterior e interior obtenidas en el ensayo de laboratorio para: A) Colmena control. B) Colmena con lana mineral de roca. C) Colmena con fibra de madera. D) Colmena con corcho aglomerado negro. E) Colmena con corcho aglomerado blanco.

El gráfico muestra la evolución de la temperatura en el interior de cada colmena ensayada en relación con la temperatura exterior, es decir, la temperatura del aire circundante en la cámara de experimentación. La dinámica de las variables monitorizadas es similar en todos los materiales: la temperatura exterior se incrementa rápidamente, mientras que la temperatura interior de la colmena lo hace de forma más gradual, modulada por las propiedades aislantes de cada material. Entre las barras verticales discontinuas se indica la franja temporal del experimento que se utiliza para la comparación entre tratamientos, de acuerdo con la metodología descrita en el apartado de análisis de datos.

La integración de variables entre materiales, junto con estadísticas descriptivas y un análisis de varianza para las variables “área/grosor” y “temperatura máxima tras 1 h de exposición a 60 °C”, se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 3: Estadística descriptiva y resultados del ANOVA para las variables: área / grosor y temperatura interior tras 1 h a 60 °C, incluyendo media ($\bar{x}$), desviación estándar (SD), coeficiente de variación (CV), p-valor ($< 0,05$) y comparación por pares tras LSD de Fisher.

Variable	Material	$\bar{x}$	SD	CV (%)	p-valor	Comparación por pares
Ratio área / grosor	Corcho aglomerado negro	188,473	16,230	8,615	0,0000 *	a
	Fibras de madera	218,227	32,120	14,719		ab
	Corcho aglomerado blanco	234,547	27,675	11,799		ab
	Lana mineral de roca	255,197	4,709	1,845		b
	Control	418,137	38,174	9,129		c
Tª interior tras 1 h a 60 °C (°C)	Fibras de madera	25,563	0,524	2,053	0,0071 *	a
	Corcho aglomerado negro	25,570	0,278	1,090		a
	Lana mineral de roca	26,093	0,090	0,347		a
	Corcho aglomerado blanco	26,140	0,470	1,799		a
	Control	26,967	0,402	1,493		b

Se observa que el área bajo la curva de temperatura interior, durante la primera hora del experimento hasta alcanzar los 22 °C, es menor en todos los tratamientos aislantes en comparación con la colmena control. Esta diferencia se debe, en parte, a que la temperatura interior alcanzada al final de dicho intervalo también es inferior en todas las colmenas con aislante respecto al tratamiento control.

Los resultados del ANOVA detectan diferencias significativas entre los diferentes aislantes tanto para la variable “ratio área / grosor” (p-valor $< 0,0001$) como para la “Tª interior tras 1 h a 60 °C” (p-valor = 0,0071). La aplicación de pruebas a posteriori mediante la comparación por pares con LSD de Fisher muestra diferencias significativas entre todos los grupos de la variable “área / grosor”, aunque en el caso de la “Tª interior tras 1 h a 60 °C” únicamente detecta diferencias significativas entre la colmena control y el resto de los aislantes utilizados en el ensayo de laboratorio.

La variable “ratio área / grosor” con diferencias significativas entre grupos, muestra la siguiente distribución de las medias de menor a mayor valor: corcho aglomerado negro $<$ fibras de madera $<$ corcho aglomerado blanco $<$ lana mineral de roca $<$ control. Mientras que en la variable “Tª interior tras 1 h a 60 °C”, la distribución de las medias de menor a mayor valor es: fibras de madera $<$ corcho aglomerado negro $<$ lana mineral de roca $<$ corcho aglomerado blanco $<$ control.

En definitiva, cualquiera de los aislantes seleccionados ofrece diferencias significativas de rendimiento en comparación con la colmena control, que carece de aislamiento.

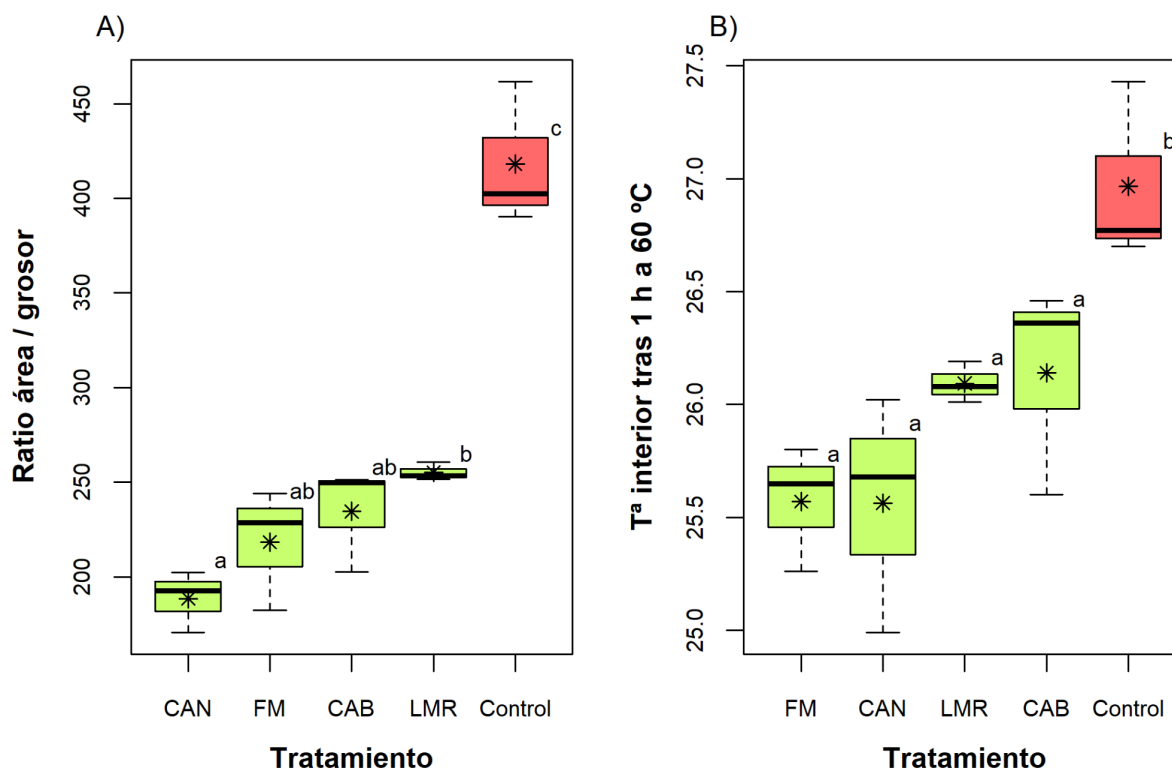


Figura 15: A) Gráfico con la relación área / grosor para cada tipo de material aislante. B) Gráfico con la temperatura interior máxima tras 1 h a 60 °C de temperatura exterior para cada tipo de material aislante: Control, CAN (corcho aglomerado negro), FM (fibras de madera), CAB (corcho aglomerado blanco) y LMR (lana mineral de roca). (* = media)

Según los resultados, el corcho aglomerado negro ofrece el mejor desempeño en la variable “ratio área/grosor”. En el caso de la variable “Tª interior tras 1 h a 60 °C”, los valores más favorables se obtuvieron tanto en este material como en las fibras de madera, si bien en dicha variable no se detectaron diferencias significativas entre los cuatro materiales aislantes. Esto sugiere que los cuatro materiales aislantes naturales seleccionados presentan un comportamiento térmico similar. No obstante, todos ellos muestran diferencias claras y estadísticamente significativas al compararse con la colmena control (Tabla 3 y Figura 15). Cada material estudiado mejora proporcionalmente el aislamiento, por lo que la decisión final sobre qué material utilizar en la colmena debe considerar otros factores relevantes como la disponibilidad en el mercado, el coste y las propiedades de mecanización.

Los resultados de este experimento no pueden compararse con otros estudios debido a la ausencia de investigaciones previas que evalúen materiales aislantes alternativos para la construcción de colmenas en condiciones controladas de laboratorio. No obstante, en estudios de campo con colonias de *Apis mellifera*, se ha demostrado una mejora en el rendimiento al incorporar materiales aislantes en colmenas, en comparación con las tradicionales de madera de pino. Entre los materiales probados con resultados satisfactorios se encuentran: polietileno (Abou-Shaara et al., 2013), espuma plástica de composición no especificada (Erdoğan, 2019; St. Clair et al., 2022), poliestireno (Erdoğan, 2019) y su variante extruida XPS (St. Clair et al., 2022), poliuretano (Alburaki y Corona, 2021), polipropileno (St. Clair et al., 2022) y corcho (Floris et al., 2020). Así mismo, se han ensayado colmenas fabricadas con mortero de cemento-vermiculita, aunque sin mostrar diferencias significativas en la temperatura interior respecto a las de madera (Lorenzon et al., 2004).

3.2. Ensayo de campo

3.2.1. Producción de miel y propóleo

La producción de miel por colmena presentó diferencias significativas entre los dos tipos de colmenas evaluados, de acuerdo con el análisis de varianza (ANOVA) realizado ($p = 0,0454$), logrando las colmenas aislantes con corcho una media de 62,9 kg mientras que la media de las colmenas control se situó en 26,1 kg, lo que supone un incremento del 141 % en las colmenas aislantes. Sin embargo, no se detectó una producción de propóleo significativa ($p = 0,644$), a pesar de alcanzar las colmenas aislantes una producción media de 158,3 g y 101,7 g en las colmenas control (*Figura 16*). A continuación, se muestran los resultados del estadístico ANOVA empleado y la representación gráfica de los resultados.

Tabla 4: Estadística descriptiva y resultados del ANOVA para las variables: producción media de miel (kg) y producción media de propóleo (g).

Variable	Tratamiento	$\bar{x}$	SD	CV (%)	p-valor
Producción de miel (kg)	Aislante	62,938	20,378	32,378	0,0454 *
	Control	26,066	16,677	63,981	
Producción de propóleo (g)	Aislante	158,333	29,297	18,504	0,644
	Control	101,667	72,514	71,326	

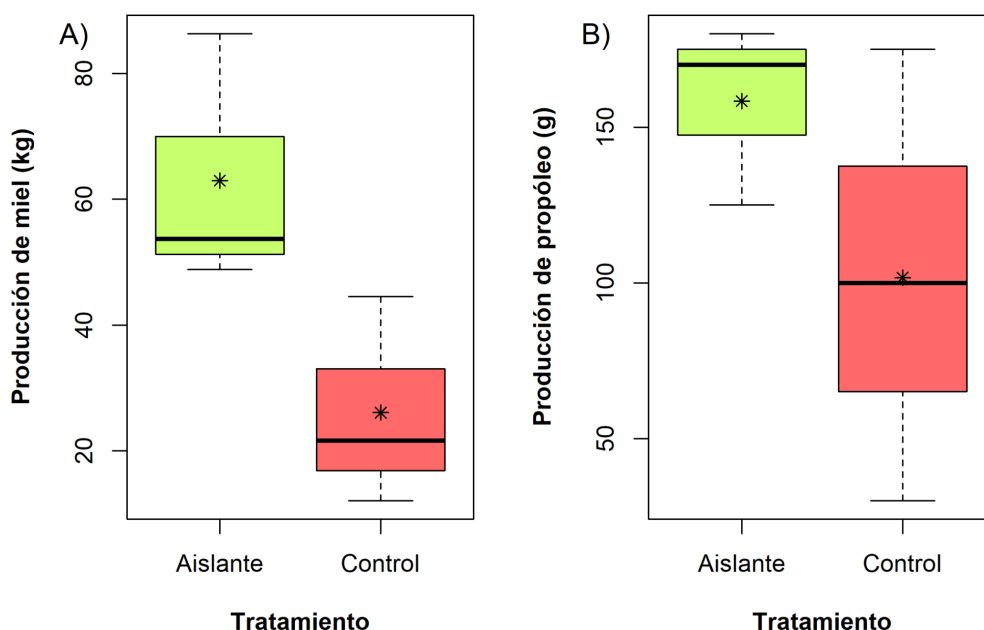


Figura 16: Gráfico con la producción (= media) por tipo de colmena. A) Miel. B) Propóleo*

Aunque la tendencia general indica una mayor producción de propóleo en las colmenas aislantes, a nivel estadístico no se encontraron diferencias significativas. Esta falta de significación podría deberse a diversos factores que introducen variabilidad en los resultados. Uno de ellos es el comportamiento de sellado con propóleo al aproximarse el invierno, estrategia utilizada por las abejas para minimizar la pérdida de calor (Jarimi et al., 2020). Por tanto, sería esperable un sellado más intensivo en las colmenas sin aislamiento (grupo control) de este estudio. Sin

embargo, Ribeiro Pereira et al. (2009) no encontraron una correlación directa entre temperatura ambiental y producción de propóleo. Otro factor que podría influir es el tamaño de la población, dado que solo una pequeña fracción de la colonia (1-3 %) se dedica a recolectar propóleo. Así mismo, variables como la comunidad botánica, la genética, el clima, la estructura interna de la colmena o la presencia de enfermedades (Mountford-McAuley et al., 2020) también pueden afectar la producción. No obstante, estos factores no deberían diferir entre los tratamientos de aislamiento comparados, ya que se procuró mantener condiciones homogéneas para todos ellos.

La producción significativamente mayor en miel de las colmenas aislantes se relaciona con el mejor aislamiento térmico del corcho aglomerado blanco aplicado, lo que parece implicar un menor gasto energético por parte de la colonia para mantener la homeostasis. Tal como se ha descrito, la bibliografía científica también reporta mejoras en la producción apícola al incorporar materiales aislantes de diversas características en las colmenas. Abou-Shaara et al. (2013) observaron un incremento significativo del área de miel, entre un 50 % y un 85 % adicional, al emplear distintos tipos de colmenas aisladas frente a las tradicionales de madera. Por su parte, Erdoğan (2019) obtuvo un aumento del 35 % en la cosecha de miel mediante un material compuesto de espuma plástica y paredes delgadas de madera, en comparación con las colmenas tradicionales. Además, utilizando poliestireno como aislante, logró un incremento del 18 %. St. Clair et al. (2022) detectaron una pérdida de peso significativamente menor en colmenas aisladas durante el invierno, asociada al menor consumo de miel almacenada para la producción de calor y el mantenimiento de la homeostasis del racimo invernal. Aunque Floris et al. (2020) emplearon corcho como material aislante para evaluar su efecto en la termorregulación de la colmena, no utilizaron la producción de miel como indicador. No obstante, Floris et al. (2020) hacen referencia a un estudio propio no disponible en línea (Satta y Floris, 2004), en el que sus colmenas de corcho habrían reducido el consumo de miel en invierno, probablemente debido a una mejor eficiencia termorreguladora. Finalmente, Alburaki y Corona (2021), en su estudio con colmenas de poliuretano, no utilizaron la producción de miel como variable para evaluar el efecto del aislamiento, aunque sí obtuvieron, de forma significativa, una mayor temperatura interior en invierno y una mayor estabilidad térmica entre el día y la noche.

3.2.2. Temperatura interior media diaria

La temperatura interior media diaria de la colmena, al considerar el periodo completo de estudio en campo, de mayo de 2023 a octubre de 2024 (*Figura 17A*), no mostró diferencias significativas entre tratamientos de aislamiento (ANOVA, $p = 0,9607$). En cambio, el periodo fenológico fue altamente significativo ($p < 0,001$) tanto con alternancia (*Figuras 13A y 17B*) como sin alternancia (*Figuras 13B y 17C*), obteniéndose valores medios superiores durante el pecoreo. Además, la interacción entre tratamiento y periodo resultó significativa: durante el periodo de pecoreo, las colmenas aislantes presentaron temperaturas medias ligeramente mayores, mientras que en el periodo invernal fueron más altas en las colmenas no aislantes. La *Tabla 5* presenta la estadística descriptiva y los resultados del ANOVA de los modelos aplicados.

Tabla 5: Estadística descriptiva y resultados ANOVA para la temperatura interior media.

Efecto fijo	AIC	Nivel	$\bar{x}$	SD	CV (%)	p-valor
Tratamiento	12.897,69	Aislante	25,14	7,89	31,38	0,96
		Control	25,19	6,99	27,76	
Periodo con alternancia	10.579,15	Pecoreo	30,93	3,45	11,16	< 0,01 *
		Invernal	18,45	4,74	25,69	
Periodo sin alternancia	10.304,12	Pecoreo	31,21	2,89	9,26	< 0,01 *
		Invernal	18,39	4,65	25,29	
Tratamiento y periodo con alternancia	10.560,70	Pecoreo + Aislante	31,29	3,67	11,73	< 0,01 *
		Pecoreo + Control	30,57	3,18	10,40	
		Invernal + Aislante	17,97	4,84	26,91	
		Invernal + Control	18,93	4,59	24,27	
Tratamiento y periodo sin alternancia	10.277,86	Pecoreo + Aislante	31,61	2,99	9,44	< 0,01 *
		Pecoreo + Control	30,80	2,73	8,87	
		Invernal + Aislante	17,88	4,72	26,41	
		Invernal + Control	18,91	4,53	23,96	

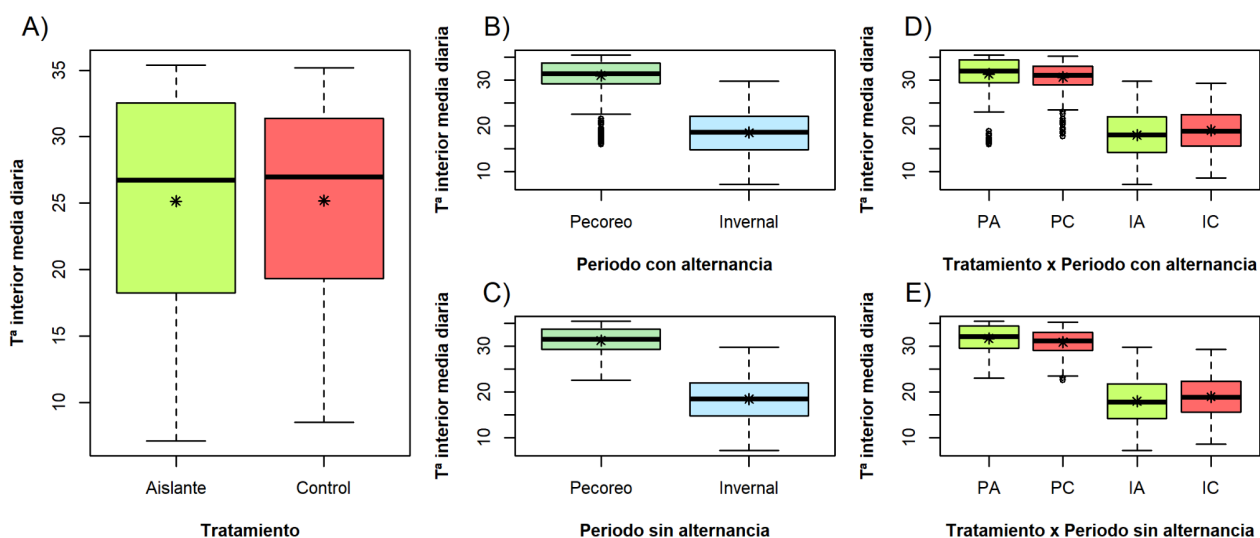


Figura 17: Diagrama de cajas con la temperatura media interior diaria (* = media) con diferentes efectos fijos. A) Tratamiento. B) Periodo con alternancia. C) Periodo sin alternancia. D) Tratamiento y periodo con alternancia. E) Tratamiento y periodo sin alternancia.

Los valores de temperatura interior media, considerando el conjunto de la temporada, se sitúan en promedio por debajo del rango adecuado para la cría (Kraus et al., 1998). Esta situación podría deberse a la posición del sensor, ubicado de forma central en la cámara de cría y en la parte superior del cuadro (Figura 12), que quizá no fuese la más adecuada para capturar el microambiente de la cría. Aunque el racimo invernal suele ocupar esta posición central (Seeley y Morse, 1976; Cook et al., 2021), su localización depende fundamentalmente de la temperatura (Smith et al., 2024) y puede cambiar de posición, tamaño y forma (Minaud et al., 2024b),

desplazándose hacia focos de calor (Barmak et al., 2023), razón por la que Zheng et al. (2024) desaconseja el uso de un único sensor. Por otra parte, la adición de alzas para el almacenamiento de miel (*Figura 3*) puede haber desplazado el nido desde la cámara de cría hacia niveles superiores, influyendo en la temperatura interior detectada por el sensor fijo situado en la misma posición durante todo el estudio. Este posible sesgo se podría mitigar con el uso de rejillas excluidoras de reina entre la cámara de cría y las alzas, que impiden su paso y restringen la puesta a la cámara inferior (Kumar Gupta et al., 2014), aunque conlleva un riesgo de bloqueo de la cría si las obreras llenan los cuadros inferiores de polen y miel. La falta de significación en el análisis global también podría estar asociada a la elevada variabilidad del conjunto de datos (1.884 registros, 314 por nodo). Además, la notable capacidad de termorregulación de *Apis mellifera*, manteniendo la temperatura de la cría bajo cualquier situación en el rango 30,7-37 °C mediante diversos mecanismos de calentamiento (Harrison, 1987; Esch et al., 1991; Kovac y Schmaranzer, 1996; Bujok et al., 2002; Stabentheiner et al., 2003; Barmak et al., 2023) y enfriamiento (Lindauer, 1955; Lindauer, 1961; Southwick y Heldmaier, 1987; Kühnholz y Seeley, 1997; Starks y Gilley, 1999; Johnson, 2002; Nicolson, 2009; Bonoan et al., 2014; Ostwald et al., 2016; Rowe et al., 2025), podría atenuar efectos atribuibles al aislamiento.

La inclusión del periodo fenológico como efecto fijo con alta significación avala la idoneidad del enfoque metodológico que incorpora la variabilidad térmica asociada a la fenología de *Apis mellifera*. Los modelos con distintas definiciones del periodo (con o sin alternancia) presentan medias, desviaciones estándar y coeficientes de variación muy similares. Sin embargo, el criterio de información de Akaike (AIC), medida de la calidad relativa del ajuste, es menor cuando se considera el periodo sin alternancia, es decir, tras reclasificar los registros etiquetados como pecoreo activo pero condicionados por un contexto de inactividad invernal (*Figura 13*). Dichos registros se manifiestan como outliers tanto en el modelo con el periodo como único efecto fijo como en el modelo con la interacción entre periodo y tratamiento. Esto sugiere que, aun cuando la temperatura exterior alcance o supere el umbral de activación del pecoreo, la temperatura interior media puede mantenerse en valores propios del periodo circundante de inactividad para preservar la homeostasis mediante el comportamiento de racimo (Barmak et al., 2023). En consecuencia, en los análisis posteriores que consideran la variable periodo se excluyen los resultados del periodo no depurado (con alternancia).

Al tener en cuenta como efecto fijo la interacción entre periodo sin alternancia y tratamiento, se observa que la temperatura interior media en el periodo invernal es de 17,88 °C en colmenas aislantes y de 18,91 °C en colmenas control, valores que no alcanzan el rango descrito por Kraus et al. (1998) debido a la posible ubicación inadecuada del sensor descrita. En el periodo de pecoreo activo, los valores medios son de 31,61 °C (aislantes) y 30,80 °C (control), logrando en ambos casos el extremo inferior del rango adecuado de temperatura descrito por Kraus et al. (1998). Estos resultados podrían sugerir en apariencia que las colmenas sin aislamiento operan a temperaturas ligeramente más altas en invierno y algo más bajas en verano. No obstante, la posición del sensor, la variabilidad de los datos y la homeostasis de la colonia pueden estar condicionando los resultados más que el propio tratamiento aislante. Esto explicaría que ambos tipos de colmena presenten temperaturas similares, sin diferencias significativas a lo largo del año,

aunque previsiblemente con mayor coste energético y menor dedicación al pecoreo para las colmenas control, coherente con la inferior producción de miel observada en estas últimas (*Figura 16*).

3.2.3. Temperatura interior máxima diaria

Para la temperatura interior máxima diaria a lo largo de toda la temporada apícola con tratamiento como efecto fijo (*Figura 18A*), tampoco se detectan diferencias significativas según el tratamiento aislante aplicado, de acuerdo al ANOVA realizado ($p = 0,3381$), aunque sí en el efecto fijo de periodo ($< 0,01$) donde el periodo de pecoreo alcanzó una temperatura máxima notablemente mayor. Al incorporar la diferenciación por periodo y tratamiento, la interacción entre ambos factores fijos resulta significativa (*Figura 18B*): tanto en el periodo de pecoreo como en el de invernada, las colmenas control mantienen temperaturas interiores máximas ligeramente superiores en promedio. En la *Tabla 6* se muestra la estadística descriptiva y los resultados del ANOVA para los modelos aplicados.

Tabla 6: Estadística descriptiva y resultados ANOVA para la temperatura máxima interior diaria.

Efecto fijo	AIC	Nivel	$\bar{x}$	SD	CV (%)	p-valor
Tratamiento	12.779,52	Aislante	27,80	7,53	27,09	0,34
		Control	28,65	6,87	23,98	
Periodo sin alternancia	10.575,82	Pecoreo	33,85	2,53	7,47	< 0,01 *
		Invernal	21,92	5,30	24,19	
Tratamiento y periodo sin alternancia	10.558,27	Pecoreo + Aislante	33,80	2,48	7,34	< 0,01 *
		Pecoreo + Control	33,90	2,57	7,59	
		Invernal + Aislante	21,07	5,26	24,94	
		Invernal + Control	22,77	5,22	22,90	

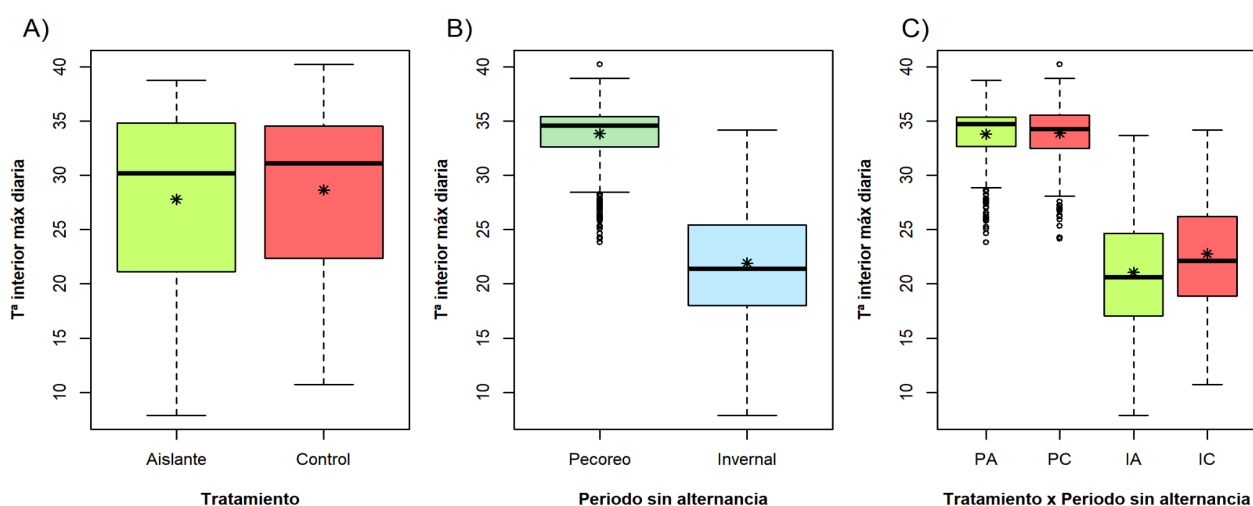


Figura 18: Diagrama de cajas con la temperatura máxima interior diaria (= media) con diferentes efectos fijos. A) Tratamiento. B) Periodo sin alternancia. C) Tratamiento y periodo sin alternancia.*

Si solo se tiene en cuenta el tratamiento como efecto fijo, los valores de temperatura interior máxima se sitúan por debajo del rango adecuado para la cría (30,7-37 °C; Kraus et al., 1998), aunque al tener en cuenta el periodo sin alternancia, en el periodo de pecoreo se alcanza el rango descrito en su límite inferior. Se ha comprobado que los valores atípicos detectados en los gráficos (*Figuras 18B y 18C*) son más abundantes en caso de aplicar el periodo con alternancia y en los modelos representados estos valores pueden ser días de transición entre periodos. Por ejemplo, fechas en las que se logró la temperatura interior media de 12,7 °C (Kovac y Stabenthenier, 2011) aplicada como filtro, aunque la temperatura interior máxima alcanzada fuese más propia de días fríos, situándose los valores atípicos por encima del valor medio del periodo invernal (21,92 °C).

Al diferenciar por tratamiento y periodo sin alternancia, en el periodo invernal la temperatura interior máxima alcanza 21,07 °C en colmenas aislantes y 22,77 °C en colmenas control, mientras que en el periodo de pecoreo activo es de 33,80 °C (aislantes) y 33,90 °C (control), valores que en ambos casos se sitúan dentro del rango de referencia de Kraus et al. (1998) aunque próximos a su límite inferior.

Es importante conocer las temperaturas pico alcanzadas durante todo el transcurso del estudio, motivo por el que se representan los valores absolutos máximos de temperatura interior registrados en la siguiente tabla:

Tabla 7: Valores absolutos de temperatura interior máxima registrados.

Tratamiento	Máximo absoluto	Fecha	Hora
Aislante	38,75	17/06/2023	12:45
Control	40,24	06/10/2023	13:45
Pecoreo + Aislante	38,75	17/06/2023	12:45
Pecoreo + Control	40,24	06/10/2023	13:45
Invierno + Aislante	33,66	19/02/2024	15:00
Invierno + Control	34,2	13/03/2024	15:45

Es importante aclarar que estos valores no se corresponden a promedios sino son valores puntuales registrados en un nodo (colmena). Se puede observar que los máximos absolutos se han producido en todos los casos en horas centrales del día. En el caso del periodo de pecoreo, se ha registrado una temperatura interior máxima absoluta más elevada en la colmena control y resulta curioso comprobar que el momento de ocurrencia de dicho evento es el 6 de octubre, fecha típicamente otoñal que donde sin embargo la red sensorial registró una temperatura exterior de 31,80 °C en dicho momento, aunque habiendo alcanzado 32,14 °C media hora antes. Se han comparado estos registros con los existentes en portales de tiempo con valores históricos (*Figura 19*) para comprobar que son ciertos.

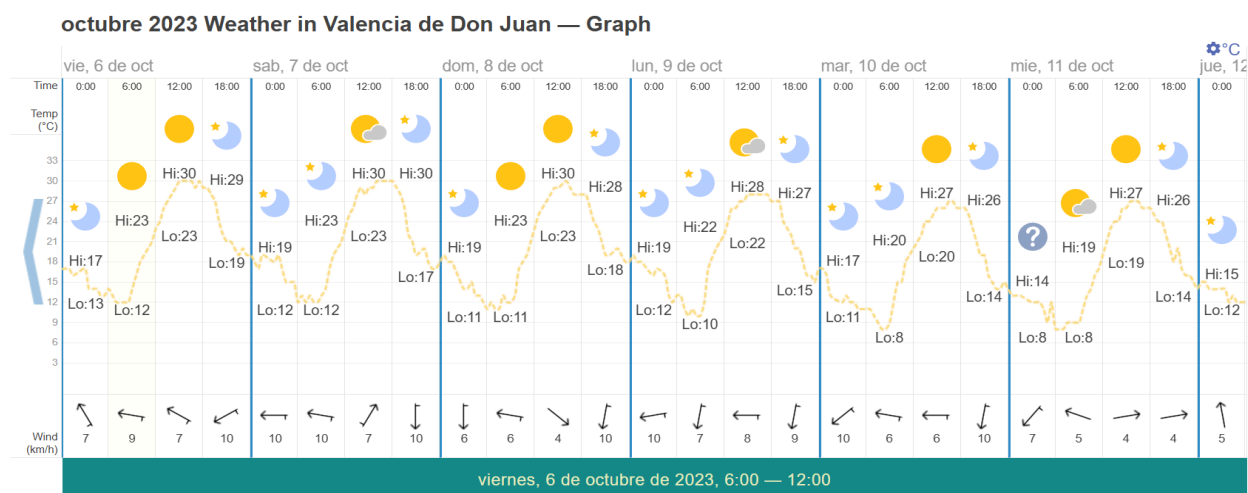


Figura 19: Temperatura del día 6 de octubre de 2023 en la zona del ensayo de campo (Timeanddate, 2025).

Que la colonia de esa colmena haya podido alcanzar una temperatura interior tan alta puede ser debido a un evento de enjambrazón, tal como describe Zacepins et al. (2016) que detectó un aumento de temperatura interior entre 1,5-3,4 °C desde la temperatura óptima de cría (34-35 °C) al rango 37-38 °C. En ese pico de calor, las otras 2 colmenas control presentaban temperaturas interiores de 38,13 °C y 38,93 °C con un promedio de 39,1 °C mientras que las 3 colmenas aislantes presentaban valores de 35,15 °C, 35,50 °C y 38,45 °C, con un promedio de 36,37 °C.

Por otra parte, el momento en que se alcanzó la temperatura interior máxima de 38,75 °C en una colmena aislante (17 de junio de 2023 a las 13:45), las otras 2 colmenas aislantes tenían 32,08 °C y 38,16 °C con un promedio de 36,33 °C. En cambio las colmenas control en ese momento tenían 38,44 °C, 38,68 °C y 38,29 °C, con un promedio de 38,47 °C, nuevamente superior en el caso sin tratamiento.

Aunque en el caso de la temperatura interior máxima las colmenas aislantes muestran posibles mejores prestaciones térmicas, es importante aclarar que, de nuevo, la posición del sensor, la variabilidad de los datos y la capacidad de termorregulación de las abejas melíferas podrían estar influyendo en mayor medida que el propio tratamiento aislante, por lo que estas diferencias deben interpretarse con cautela.

3.2.4. Temperatura interior mínima diaria

La temperatura interior mínima diaria durante toda la temporada apícola (Figura 20A) no mostró diferencias significativas entre tratamientos (ANOVA, $p = 0,5876$). Por el contrario, el modelo con periodo como único efecto fijo fue altamente significativo ($p < 0,001$), con mínimos diarios más elevados durante el pecoreo (Figura 20B). Al incorporar la interacción entre tratamiento y periodo, se obtuvo también significación (Figura 20C): en pecoreo, las colmenas aislantes presentan en promedio, mínimos ligeramente superiores, mientras que en invernada los mínimos son mayores en las colmenas no aislantes. La Tabla 8 recoge la estadística descriptiva y los resultados del ANOVA de los modelos aplicados.

Tabla 8: Estadística descriptiva y resultados ANOVA para la temperatura mínima interior diaria.

Efecto fijo	AIC	Nivel	$\bar{x}$	SD	CV (%)	p-valor
Tratamiento	13.147,69	Aislante	22,81	8,45	37,03	0,59
		Control	22,15	7,48	33,77	
Periodo sin alternancia	10.703,30	Pecoreo	28,85	3,95	13,70	< 0,01 *
		Invernal	15,35	4,61	30,06	
Tratamiento y periodo sin alternancia	10.677,28	Pecoreo + Aislante	29,65	4,03	13,60	< 0,01 *
		Pecoreo + Control	28,05	3,71	13,23	
		Invernal + Aislante	15,15	4,68	30,93	
		Invernal + Control	15,55	4,54	29,18	

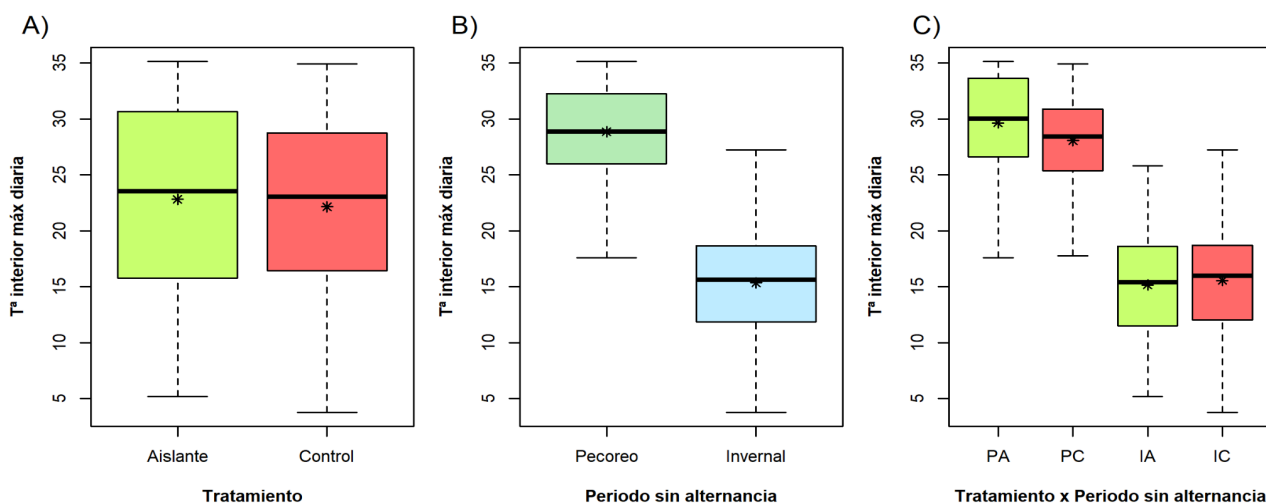


Figura 20: Diagrama de cajas con la temperatura mínima interior diaria (* = media) con diferentes efectos fijos. A) Tratamiento B) Periodo sin alternancia C) Tratamiento y periodo sin alternancia.

En promedio, los valores de temperatura interior mínima no disminuyen por debajo de los 12,9 °C, valor de riesgo por debajo del cual se produce el coma frío (De Joy, 1998), ni siquiera en el periodo invernal (15,35 °C). En el periodo de pecoreo la temperatura interior mínima no alcanza el rango descrito por Kraus et al. (1998).

Al diferenciar por tratamiento y periodo sin alternancia, en el periodo invernal la temperatura interior mínima alcanza 15,15 °C en colmenas aislantes y 15,55 °C en colmenas control, mientras que en el pecoreo activo es de 29,65 °C (aislantes) y 28,05 °C (control). Factores como la posición del sensor en relación a la ubicación del racimo invernal, la variabilidad fruto del gran volumen de datos manejados y la alta capacidad de termorregulación de las abejas melíferas podrían estar influyendo en el valor de temperatura interior mínima en mayor medida que el propio tratamiento aislante.

Los valores absolutos mínimos de temperatura interior registrados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 9: Valores absolutos de temperatura interior mínima registrados.

Nivel	Mínimo absoluto	Fecha	Hora
Aislante	5,19	02/12/2023	6:15
Control	3,77	20/01/2024	9:45
Pecoreo + Aislante	17,59	17/06/2023	5:15
Pecoreo + Control	17,77	17/05/2023	3:45
Invierno + Aislante	5,19	02/12/2023	6:15
Invierno + Control	3,77	20/01/2024	9:45

Se puede comprobar que los mínimos absolutos se han producido a media noche o primera hora de la mañana, momento en que suele coincidir la temperatura mínima del día (*Figura 19*). En el periodo de pecoreo, en una de las colmenas control se ha detectado una temperatura interior mínima absoluta ligeramente superior de la mínima absoluta detectada en colmenas aislantes. Sin embargo, en el periodo invernal, el mínimo absoluto detectado en las colmenas aislantes ha sido mayor del mínimo absoluto detectado en colmenas control.

En el momento en que se alcanzó la temperatura interior mínima absoluta de 3,77 °C (20 de enero de 2024 a las 9:45), el resto de colmenas control tenían 7,48 °C y 13,04 °C, con un promedio de 8,10 °C, por debajo del valor de riesgo por debajo del cual se produce el coma frío (De Joy, 1998), especialmente si se considera el valor más laxo de 10 °C de Free y Spencer-Booth (1960). En ese pico de frío, las colmenas aislantes presentaron valores de 5,37 °C, 7,83 °C y 9,50 °C con un valor medio de 7,56 °C, ligeramente menor del valor medio de las 3 colmenas control en el mismo momento.

Por otra parte, el momento en que se alcanzó la temperatura interior mínima de 5,19 °C en una colmena aislante (2 de diciembre de 2023 a las 6:15), las otras 2 colmenas aislantes tenían valores de 5,93 °C y 7,67 °C con un promedio de 6,26 °C mientras que las colmenas control tenían valores de 7,69 °C, 9,40 °C y 9,84 °C, con un promedio de 8,98 °C, notablemente mayor, aunque en ambos casos por debajo del valor que produce el coma frío (De Joy, 1998; Free y Spencer-Booth, 1960). Como todas las colonias de *Apis mellifera* sobrevivieron al periodo invernal tal como se comprobó en la primavera de 2024, se comprueba que el sensor de temperatura interior en la ubicación central y superior elegida en la cámara de cría no registra los valores de temperatura existentes en el racimo invernal, confirmando las limitaciones descritas por Zheng et al. (2024) en el uso de un único sensor por colmena.

En definitiva, la red de sensores desarrollada supervisó correctamente el nivel de temperatura exterior, aunque la elección de un único sensor por colmena y su ubicación en la colmena (Zheng et al., 2024) condicionaron los resultados de temperatura interior. Estos efectos se pueden deber tanto a los posibles cambios de posición, tamaño y forma del racimo invernal (Minaud et al., 2024b) como al posible desplazamiento del nido de cría hacia las alzas añadidas en verano. Por otra parte, la notable capacidad de *Apis mellifera* descrita para mantener la homeostasis térmica en intervalos estrechos de temperatura junto al gran volumen de datos analizados, puede haber contribuido a la falta de significación y a la gran variabilidad observada en los diferentes estadísticos de temperatura interior. Por ello, los efectos significativos detectados en la interacción entre tratamiento y periodo deben interpretarse con cautela, lo que explicaría que, según el análisis, en algunos casos un tratamiento presente temperaturas superiores y en otros suceda lo contrario, mientras que los modelos con tratamiento como único efecto fijo no resultaron significativos.

En contraste, la producción de miel sí mostró diferencias significativas a favor de las colmenas con aislamiento, bajo condiciones iniciales equiparables (población, genética y tratamientos). Este hallazgo es coherente con la hipótesis de que un mejor aislamiento térmico reduce el gasto energético de la colonia en la termorregulación, disminuyendo así el consumo de miel destinado al metabolismo (Cecchi et al., 2020). El incremento de producción, cercano a 37 kg de promedio adicional en colmenas aisladas, justificaría sobradamente la inversión de 30 €. En un sistema productivo al por mayor, con precios medios de miel a granel en torno a 4 €/kg, ello supondría un ingreso extra de 148 € por colmena, mientras que en un sistema de venta al por menor, con precios envasados en torno a 7 €/kg (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 2025a), el beneficio ascendería a 259 € por colmena.

La red sensorial diseñada ofrece un amplio margen de mejora, con la posibilidad de integrar sensores adicionales que permitan una estimación más precisa de la temperatura interior y la ampliación a otras variables (humedad, sonido, peso, contador de abejas). Como línea prioritaria de investigación, se plantea incrementar el número y la ubicación de las sondas térmicas (Zheng et al., 2024), lo que facilitaría el análisis del gradiente térmico entre diferentes puntos de la colmena y el seguimiento de la migración del nido de cría a lo largo del año. La incorporación de sensores de humedad permitiría estimar la entrada de néctar y agua, así como valorar el riesgo de aparición de enfermedades (Eouzan et al., 2019). Los sensores acústicos, por su parte, podrían detectar la presencia o pérdida de la reina (Terenzi et al., 2020) e incluso anticipar el enjambrazón (Ramsey et al., 2020). Las básculas de peso, además de detectar la enjambrazón, aportarían un seguimiento más preciso del efecto del aislamiento sobre la producción de miel en el periodo de pecoreo y sobre el ahorro de reservas durante el invierno (Cecchi et al., 2020), sin necesidad de abrir la colmena en una fase tan sensible. Finalmente, los contadores de abejas registrarían el balance de entrada y salida de individuos, proporcionando información clave para caracterizar con mayor detalle los periodos de actividad de la colonia (Odemer, 2022). De manera transversal, resulta fundamental avanzar en la reducción de los costes del hardware (sensores y controlador) para garantizar la viabilidad de su implementación práctica..

Por último, el diseño de camisas aislantes puede ser extrapolable a otros modelos de colmenas de cuadros móviles (ej: Dadant, Layens, Warré) mediante el ajuste de sus dimensiones, si bien su implementación en el mercado apícola puede presentar desventajas (mayor peso y tiempo de anclaje/desancle). Es necesario por tanto continuar con la innovación del prototipo para reducir peso, agilizar el sistema de anclaje, optimizar el grosor del tablero protector exterior y aumentar la durabilidad frente a impactos, humedad y radiación solar, así como mantener unos costes bajos.

4. Conclusiones

El ensayo de laboratorio demostró que las colmenas Langstroth que incorporan materiales aislantes naturales específicos (lana mineral de roca, panel de fibras de madera, corcho aglomerado blanco y corcho aglomerado negro) presentan propiedades térmicas superiores a la colmena control. Se detectaron diferencias significativas en el área bajo la curva de temperatura interior normalizada por grosor, entre todos los tratamientos evaluados. En cambio, para la temperatura interior tras 1 h a 60 °C, no se observaron diferencias entre materiales aislantes, aunque sí entre el conjunto de aislantes y el control. Por criterios de disponibilidad, coste, mecanizado y durabilidad, el ensayo de campo se centró en el corcho aglomerado blanco frente a colmenas control.

En campo, las colmenas con aislante de corcho aglomerado blanco mostraron una producción de miel significativamente mayor que las colmenas control, mientras que no se detectaron diferencias significativas en propóleo. Este resultado es coherente con la hipótesis de que el aislamiento reduce el gasto energético de termorregulación y preserva reservas.

Respecto a la temperatura interior, los modelos mixtos no detectaron diferencias significativas globales entre tratamientos para media, máximos y mínimos. El periodo fenológico (pecoreo vs. invernada) fue altamente significativo y el enfoque reclasificado sin alternancia ofreció un mejor ajuste, reflejado en un menor AIC y una reducción de valores atípicos. La aparente interacción entre periodo y tratamiento debe interpretarse con cautela, ya que la ubicación de un único sensor (posición central-superior), la gran capacidad de termorregulación de *Apis mellifera* y la variabilidad fruto del gran volumen de datos, pueden haber condicionado los efectos atribuibles al aislamiento.

El prototipo de colmena aislante y la red sensorial asociada fueron registrados como Modelo de Utilidad ante la OEPM por la Universidad de Valladolid, y los resultados se han divulgado en *Applied Sciences* (2024) bajo el título “Comparative Study of Natural Fibres to Improve Insulation in Wooden Beehives Using Sensor Networks” (Casado-Sanz et al., 2024) y también en el 9º Congreso Forestal Español (2025), dando continuidad a un proyecto reconocido con el Premio Prometeo (2022), que permitió el diseño del prototipo y su evaluación en laboratorio, así como dos pruebas de concepto (POC) desarrolladas por la Universidad de Valladolid para el ensayo de campo y la instalación de la red sensorial.

En conjunto, los resultados sugieren que integrar materiales aislantes naturales en colmenas Langstroth de madera convencionales puede mejorar el desempeño productivo y contribuir a una mayor resiliencia frente a condiciones térmicamente adversas, con beneficios directos para el apicultor. El diseño de una camisa exterior de corcho, puede extrapolarse a otros modelos de colmenas modernas y representa una de las primeras iniciativas a nivel nacional orientadas a la reintroducción de un biomaterial forestal anteriormente empleado en apicultura, adaptado ahora a las exigencias y problemáticas actuales.

La red sensorial de bajo coste ha mostrado viabilidad para monitorización remota con rendimiento adecuado en campo y ofrece un itinerario de mejora: multiplicar y reubicar sondas térmicas, añadir sensores (humedad, sonido, peso y contador de abejas) e implementar algoritmos de manejo adaptativo (detección temprana del colapso invernal, sobrecalentamiento, enfermedades y enjambración). Todo ello, junto con la optimización de costes del hardware, favorecerá la mejora del prototipo.

5. Bibliografía

3Bee (2025) *3Bee Hive-tech*. Disponible en: <https://www.3bee.com/es/tecnologia/> (Acceso: Julio 23, 2025).

Abou-Shaara, H.F., Al-Ghamdi, A.A. y Mohamed, A.A. (2013) "Honey bee colonies performance enhance by newly modified beehives", *Journal of Apicultural Science*, 57(2), pp. 45-57. Disponible en: <https://doi.org/10.2478/JAS-2013-0016>

Adafruit (2025) *Adafruit RFM69HCW and RFM9X LoRa Packet Radio Breakouts*. Disponible en: <https://learn.adafruit.com/adafruit-rfm69hwc-and-rfm96-rfm95-rfm98-lora-packet-radio-breakouts> (Acceso: Enero 14, 2025).

Aislantes de Madera (2025) *STEICO Roundtrip*. Disponible en: <http://aislantesmadera.es/featured-content/steico-roundtrip> (Acceso: Julio 25, 2025).

Alburaki, M. y Corona, M. (2021) "Polyurethane honey bee hives provide better winter insulation than wooden hives", *Journal of Apicultural Research*, 61(2), pp. 190-196. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/00218839.2021.1999578>

Al-Rajhi, M.A. (2017) "Effect of shading and ventilation on the amount of water consumed for cooling beehive during summer season", *Misr Journal of Agricultural Engineering*, 34(4), pp. 1857-1868. Disponible en: <https://doi.org/10.21608/MJAE.2017.96196>

Alves, L.H.S., Cassino, P.C.R. y Prezoto, F. (2015) "Effects of abiotic factors on the foraging activity of *Apis mellifera* Linnaeus, 1758 in inflorescences of *Vernonia polyanthes* Less (Asteraceae)", *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 37(4), pp. 405-409. Disponible en: <https://doi.org/10.4025/ACTASCIANIMSCI.V37I4.27463>

antifurto arnia (2025) *antifurto arnia*. Disponible en: <https://antifurtoarnia.it/es/> (Acceso: Julio 24, 2025).

Anwar, O., Keating, A., Cardell-Oliver, R., Datta, A. y Putrino, G. (2022) "Design and development of low-power, long-range data acquisition system for beehives - BeeDAS", *Computers and Electronics in Agriculture*, 201, p. 107281. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.COMPAG.2022.107281>

Arnia Perfetta (2025) *Arnia Perfetta*. Disponible en: <https://www.arniaperfetta.it/es/> (Acceso: Julio 25, 2025).

Asair (2025) *AHT20 Integrated temperature and humidity Sensor-Sensor-Temperature and Humidity-Guangzhou Aosong Electronic Co*. Disponible en: <https://asairsensors.com/product/aht20-integrated-temperature-and-humidity-sensor/> (Acceso: Enero 14, 2025).

Atlas of the Future (2025) *OSBeehives*. Disponible en: <https://atlasofthefuture.org/es/project/open-source-beehives/> (Acceso: Julio 23, 2025).

Baird, E., Boeddeker, N. y Srinivasan, M.V. (2021) "The effect of optic flow cues on honeybee flight control in wind", *Proceedings of the Royal Society B*, 288(1943). Disponible en: <https://doi.org/10.1098/RSPB.2020.3051>

Barmak, R., Stefanec, M., Hofstadler, D.N., Piotet, L., Schönwetter-Fuchs-Schistek, S., Mondada, F., Schmickl, T. y Mills, R. (2023) "A robotic honeycomb for interaction with a honeybee colony", *Science Robotics*, 8(76). Disponible en: <https://doi.org/10.1126/scirobotics.add7385>

Becher, M.A., Scharpenberg, H. y Moritz, R.F.A. (2009) "Pupal developmental temperature and behavioral specialization of honeybee workers (*Apis mellifera* L.)", *Journal of Comparative Physiology A: Neuroethology, Sensory, Neural, and Behavioral Physiology*, 195(7), pp. 673-679. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/S00359-009-0442-7/TABLES/3>

Bee Hive Monitoring (2025) *Beehive monitoring*. Disponible en: https://beehivemonitoring.com/?lang=es&gad_source=1&gad_campaignid=22346038302&gbraid=0AAAAAqZGkvMKpDuY2pH_hBtx2C13UB9Bm&gclid=Cj0KCQjwkILEBhDeARIsAL--pjzDTTBHHtcwyqwrmyBxofLi7uOvQ5GmLFpiY7iTqG1GQYx5kYjr6_YaAuA0EALw_wcB (Acceso: Julio 23, 2025).

BeeBuilt (2025) BuzzBox. Disponible en: <https://beebuilt.com/products/buzzbox> (Acceso: Julio 23, 2025).

Bernal, J.L., Jiménez, J.J., del Nozal, M.J., Toribio, L. y Martín, M.T. (2005) "Physico-chemical parameters for the characterization of pure beeswax and detection of adulterations", *European Journal of Lipid Science and Technology*, 107(3), pp. 158-166. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/EJLT.200401105>

Bonoan, R.E., Goldman, R.R., Wong, P.Y. y Starks, P.T. (2014) "Vasculature of the hive: Heat dissipation in the honey bee (*Apis mellifera*) hive," *Naturwissenschaften*, 101(6), pp. 459-465. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/S00114-014-1174-2>

Bordier, C., Dechatre, H., Suchail, S., Peruzzi, M., Soubeyrand, S., Pioz, M., Pélissier, M., Crauser, D., Le Conte, Y. y Alaux, C. (2017) "Colony adaptive response to simulated heat waves and consequences at the individual level in honeybees (*Apis mellifera*)", *Scientific Reports*, 7(1), pp. 1-11. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-03944-x>

Bosch Sensortec (2025) *Pressure Sensor BMP280*. Disponible en: https://www.bosch-sensortec.com/media/boschsensortec/downloads/product_flyer/bst-bmp280-fl000.pdf (Acceso: Enero 14, 2025).

Bricork (2025) *Rollos de corcho para múltiples usos*. Disponible en: <https://bricork.com/corcho-aislante-y-multiusos/21-corcho-industrial-en-rollo-8423437051254.html> (Acceso: Julio 25, 2025).

Broodminder (2025a) *Every Hive Counts - BroodMinder*. Disponible en: <https://broodminder.com/> (Acceso: Julio 25, 2025).

Broodminder (2025b) *How to install a temperature sensor in your hive*. Disponible en: <https://eu.broodminder.com/blogs/blog/how-to-install-a-temperature-sensor-in-your-hive> (Acceso: Mayo 14, 2025).

Buchwald, R., Breed, M.D. y Greenberg, A.R. (2008) "The thermal properties of beeswaxes: unexpected findings", *Journal of Experimental Biology*, 211(1), pp. 121-127. Disponible en: <https://doi.org/10.1242/JEB.007583>

Bujok, B., Kleinhenz, M., Fuchs, S. y Tautz, J. (2002) "Hot spots in the bee hive", *Naturwissenschaften*, 89(7), pp. 299-301. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s00114-002-0338-7>

- Casado-Sanz, M., Prado-Jimeno, R. y Fuentes-Pérez, J. F. (2024) "Comparative study of natural fibres to improve insulation in wooden beehives using sensor networks", *Applied Sciences*, 14(13), 5760. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/app14135760>
- Catania, P. y Vallone, M. (2020) "Application of A Precision Apiculture System to Monitor Honey Daily Production", *Sensors* 2020, 20(7), p. 2012. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/S20072012>
- Cecchi, S., Spinsante, S., Terenzi, A. y Orcioni, S. (2020) "A Smart Sensor-Based Measurement System for Advanced Bee Hive Monitoring", *Sensors*, 20(9), p. 2726. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/S20092726>
- Clair, A.L.S., Beach, N.J. y Dolezal, A.G. (2022) "Honey bee hive covers reduce food consumption and colony mortality during overwintering", *PLOS ONE*, 17(4), p. e0266219. Disponible en: <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0266219>
- Le Conte, Y. y Navajas, M. (2008) "Climate change: impact on honey bee populations and diseases," *Rev. sci. tech. Off. int. Epiz*, 27(2), pp. 499-510.
- Cook, D., Blackler, A., McGree, J. y Hauxwell, C. (2021) "Thermal Impacts of Apicultural Practice and Products on the Honey Bee Colony", *Journal of Economic Entomology*, 114(2), pp. 538-546. Disponible en: <https://doi.org/10.1093/JEE/TOAB023>
- Cook, D., Tarlinton, B., McGree, J.M., Blackler, A., y Hauxwell, C. (2022) "Temperature Sensing and Honey Bee Colony Strength", *Journal of Economic Entomology*, 115(3), p. 715. Disponible en: <https://doi.org/10.1093/JEE/TOAC034>
- Cota, D., Martins, J., Mamede, H. y Branco, F. (2023) "BHiveSense: An integrated information system architecture for sustainable remote monitoring and management of apiaries based on IoT and microservices", *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 9(3), p. 100110. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.JOITMC.2023.100110>
- Crane, E. (1994) "Beekeeping in the World of Ancient Rome", *Bee World*, 75(3), pp. 118-134. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/0005772X.1994.11099214>
- Crane, E. (1999) *The world history of beekeeping and honey hunting*. Nueva York. Routledge. Disponible en: <https://www.routledge.com/The-World-History-of-Beekeeping-and-Honey-Hunting/Crane/p/book/9780415924672> (Acceso: Enero 14, 2025).
- Cunningham, M.M., Tran, L., McKee, C.G., Ortega Polo, R., Newman, T., Lansing, L., Griffiths, J.S., Bilodeau, G.J., Rott, M. y Guarna, M.M. (2022) "Honey bees as biomonitors of environmental contaminants, pathogens, and climate change", *Ecological Indicators*, 134, p. 108457. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2021.108457>
- Doull, K.M. (1976) "The effects of different humidities on the hatching of the eggs of honeybees", *Apidologie*, 7(1), pp. 61-66. Disponible en: <https://doi.org/10.1051/APIDO:19760104>
- Dupleix, A., Jullien, D., Moity-Maizi, P. y Schatz, B. (2020) "Practices and knowledge of beekeepers and beehive suppliers regarding the wood material in the South of France", *Journal of Rural Studies*, 77, pp. 11-20. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.JRURSTUD.2020.04.005>
- EIF (2025) *ApisProtect: in-hive sensors*. Disponible en: https://www.eif.org/what_we_do/equity/Cas_e_studies/efsi-apisprotect-ireland.htm (Acceso: Julio 23, 2025).

Eouzan, I., Garnery, L., Pinto, M.A., Delalande, D., Neves, C.J., Fabre, F., Lesobre, J., Houte, S., Estonba, A., Montes, I., Sime-Ngando, T. y Biron, D.G. (2019) "Hygroregulation, a key ability for eusocial insects: Native Western European honeybees as a case study", *PLOS ONE*, 14(2), p. e0200048. Disponible en: <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0200048>

Erdoğan, Y. (2019) "Comparison of colony performances of honeybee (*Apis mellifera* L.) housed in hives made of different materials", *Italian Journal of Animal Science*, 18(1), pp. 934-940. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/1828051X.2019.1604088>

Erickson, M.M. y Salwei, M.L. (2020) Comparison of Plastic Apimaye Hive with Wooden Langstroth Hive for Improved Winterizing Efficiency and Mite Control. Disponible en: <https://hdl.handle.net/11299/217262> (Acceso: Enero 14, 2025).

Esch, H., Goller, F. y Heinrich, B. (1991) "How do bees shiver?", *Naturwissenschaften*, 78(7), pp. 325-328. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/BF01221422>

El Fadli, K.I., Cervený, R.S., Burt, C.C., Eden, P., Parker, D., Brunet, M., Peterson, T.C., Mordacchini, G., Pelino, V., Bessemoulin, P., Stella, J.L., Driouech, F., Wahab, M.M.A. y Pace, M.B. (2013) "World Meteorological Organization Assessment of the Purported World Record 58°C Temperature Extreme at El Azizia, Libya (13 September 1922)", *Bulletin of the American Meteorological Society*, 94(2), pp. 199-204. Disponible en: <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-12-00093.1>

FAO, Apimondia, CAAS y IZSLT (2021) "Good beekeeping practices for sustainable apiculture". FAO Animal Production and Health Guidelines No. 25. Rome. <https://doi.org/10.4060/cb5353en>

Fels, D.I., Blackler, A., Cook, D. y Foth, M. (2019) "Ergonomics in apiculture: A case study based on inspecting movable frame hives for healthy bee activities", *Heliyon*, 5 (7), e01973. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01973>

Flores, J.M., Ruiz, J.A., Ruz, J.M., Puerta, F., Bustos, M., Padilla, F. y Campano, F. (1996) "Effect of temperature and humidity of sealed brood on chalkbrood development under controlled conditions", *Apidologie*, 27(4), pp. 185-192. Disponible en: <https://doi.org/10.1051/APIDO:19960401>

Flores, J.M., Gil-Lebrero, S., Gámiz, V., Rodríguez, M., Ortiz, M.A. y Quiles, F.J. (2019) "Effect of the climate change on honey bee colonies in a temperate Mediterranean zone assessed through remote hive weight monitoring system in conjunction with exhaustive colonies assessment", *Science of The Total Environment*, 653, pp. 1111-1119. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2018.11.004>

Floris, I., Pusceddu, M., Raccimolo, E., Casula, A., Patteri, G. y Satta, A. (2020) "The use of cork in the thermoregulation of the hive: An innovation attempt to enhance non-wood products and beekeeping in Mediterranean forests", *Annals of Silvicultural Research*, 45(1), pp. 99-104. Disponible en: <https://doi.org/10.12899/ASR-2116>

Forsage (2025) *Forsage - Monitoring sensors for bee hives*. Disponible en: <https://www.forsage.net/en/sensors/> (Acceso: Julio 23, 2025).

Fortune Business Insights (2025) *Tamaño del mercado de la apicultura*. Disponible en: <https://www.fortunebusinessinsights.com/es/apiculture-market-108593> (Acceso: Julio 17, 2025).

- Free, J.B. y Spencer-Booth, Y. (1960) "Chill-coma and cold death temperatures of *Apis mellifera*", *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 3(3), pp. 222-230. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/J.1570-7458.1960.TB00451.x>
- Fuentes-Pérez, J.F., García-Vega, A., Bravo-Córdoba, F.J. y Sanz-Ronda, F.J. (2021) "A Step to Smart Fishways: An Autonomous Obstruction Detection System Using Hydraulic Modeling and Sensor Networks", *Sensors*, 21, 6909. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/s21206909>
- Gil-Lebrero, S., Quiles-Latorre, F.J., Ortiz-López, M., Sánchez-Ruiz, V., Gámiz-López, V., Luna-Rodríguez, J.J. (2017) "Honey Bee Colonies Remote Monitoring System", *Sensors*, 17(1), p. 55. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/S17010055>
- Global Bee Project (2025) *Global Bee Project*. Disponible en: <https://gbp4.com/> (Acceso: Julio 25, 2025).
- Global Market Insights (2025) *Apiculture Market Size*. Disponible en: <https://www.gminsights.com/industry-analysis/apiculture-market> (Acceso: Julio 17, 2025).
- Goulson, D. (2003) "Effects of Introduced Bees on Native Ecosystems", *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, 34, pp. 1-26. Disponible en: <https://doi.org/10.1146/ANNUREV.ECOLSYS.34.011802.132355>
- Harrison, J.M. (1987) "Roles of individual honeybee workers and drones in colonial thermogenesis", *Journal of Experimental Biology*, 129, pp. 53-61. Disponible en: <https://doi.org/10.1242/JEB.129.1.53>
- Himmer, A. (1927) "Ein Beitrag zur Kenntnis des Wärmehaushalts im Nestbau sozialer Hautflügler", *Zeitschrift für Vergleichende Physiologie*, 5(2), pp. 375-389. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/BF00338020>
- Hivemind (2025) *Beehive Monitoring System*. Disponible en: <https://hivemind.nz/> (Acceso: Julio 25, 2025).
- HiveOpolis (2025) *HiveOpolis*. Disponible en: <https://www.hiveopolis.eu/> (Acceso: Julio 25, 2025).
- HiveWatch (2025) *HiveWatch*. Disponible en: <https://hivewatch.es/> (Acceso: Julio 23, 2025).
- Holst, N. y Meikle, W.G. (2018) "Breakfast Canyon Discovered in Honeybee Hive Weight Curves", *Insects*, 9(4), p. 176. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/INSECTS9040176>
- Hong, W., Xu, B., Chi, X., Cui, X., Yan, Y. y Li, T. (2020) "Long-Term and Extensive Monitoring for Bee Colonies Based on Internet of Things", *IEEE Internet of Things Journal*, 7(8), pp. 7148-7155. Disponible en: <https://doi.org/10.1109/JIOT.2020.2981681>
- HyperHyve (2025) *Smart Beehive*. Disponible en: <https://www.hyperhyve.com/> (Acceso: Julio 25, 2025).
- IoBee (2018) *A Better Relation to Bees Thanks to a Bee-Hive Monitoring System*. Disponible en: <https://io-bee.eu/a-better-relation-to-bees-thanks-to-a-bee-hive-monitoring-system/> (Acceso: Julio 25, 2025).

IoBee (2025) *IoBee*. Disponible en: <https://io-bee.eu/> (Acceso: Julio 25, 2025).

Jarimi, H., Tapia-Brito, E. y Riff, S. (2020) "A review on thermoregulation techniques in honey bees (*Apis mellifera*) beehive microclimate and its similarities to the heating and cooling management in buildings", *Future Cities and Environment*, 6(1), pp. 1-8. Disponible en: <https://doi.org/10.5334/FCE.81>

Johansson, T.S.K. y Johansson, M.P. (1967) "Lorenzo L. Langstroth and the Bee Space", *Bee World*, 48(4), pp. 133-143. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/0005772X.1967.11097170>

Johnson, B.R. (2002) "Reallocation of labor in honeybee colonies during heat stress: The relative roles of task switching and the activation of reserve labor", *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 51(2), pp. 188-196. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/S00265-001-0419-1>

Jones, J.C., Myerscough, M.R., Graham, S. y Oldroyd, B.P. (2004) "Honey bee nest thermoregulation: Diversity promotes stability", *Science*, 305(5682), pp. 402-404. Disponible en: <https://doi.org/10.1126/SCIENCE.1096340>

Jones, J.C., Helliwell, P., Beekman, M., Maleszka, R. y Oldroyd, B.P. (2005) "The effects of rearing temperature on developmental stability and learning and memory in the honey bee, *Apis mellifera*", *Journal of Comparative Physiology A: Neuroethology, Sensory, Neural, and Behavioral Physiology*, 191(12), pp. 1121-1129. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/S00359-005-0035-Z>

De Joy, P.E. (1998) *The Effects of Low Temperature on Metabolism and Survival of Individual Honey Bees (Apis mellifera)*. Disponible en: <https://soar.suny.edu/handle/20.500.12648/4557> (Acceso: Julio 16, 2025).

Hobson Jr., J.V.H. (1983) "Ferrocement as a Material for Hives", *Bee World*, 64(3), pp. 113-116. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/0005772X.1983.11097926>

Kabir, M.S. y Yola, I.A. (2020) "Thermo-physical properties of beeswax", *Fudma Journal of Sciences*, 4(1), pp. 460-465. Disponible en: <https://fjs.fudutsinma.edu.ng/index.php/fjs/article/view/68> (Acceso: Julio 25, 2025).

Kang, Y. y Jung, C. (2024) "Threshold Temperature for the Outdoor Flight Activity of Honey Bee, *Apis mellifera* under Overwintering Conditions", *Journal of Apiculture*, 39(4), pp. 317-322. Disponible en: <https://doi.org/10.17519/APICULTURE.2024.11.39.4.317>

Klein, A.M., Vaissière, B.E., Cane, J.H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S.A., Kremen, C. y Tscharntke, T. (2007) "Importance of pollinators in changing landscapes for world crops", *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 274(1608), pp. 303-313. Disponible en: <https://doi.org/10.1098/RSPB.2006.3721>

Kleinhenz, M., Bujok, B., Fuchs, S. y Tautz, J. (2003) "Hot bees in empty broodnest cells: heating from within", *Journal of Experimental Biology*, 206(23), pp. 4217-4231. Disponible en: <https://doi.org/10.1242/JEB.00680>

Knauf (2025) *Lana mineral de vidrio - Naturoll 032*. Disponible en: https://knauf.com/es-ES/p/producto/naturoll-032-22945_4220 (Acceso: Julio 25, 2025).

- Knoll, S., Pinna, W., Varcasia, A., Scala, A. y Cappai, M.G. (2020) "The honey bee (*Apis mellifera* L., 1758) and the seasonal adaptation of productions. Highlights on summer to winter transition and back to summer metabolic activity. A review", *Livestock Science*, 235, p. 104011. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.LIVSCI.2020.104011>
- Kovac, H. y Schmaranzer, S. (1996) "Thermoregulation of honeybees (*Apis mellifera*) foraging in spring and summer at different plants," *Journal of Insect Physiology*, 42(11-12), pp. 1071-1076. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0022-1910\(96\)00061-3](https://doi.org/10.1016/S0022-1910(96)00061-3)
- Kovac, H. y Stabentheiner, A. (2011) "Thermoregulation of foraging honeybees on flowering plants: seasonal variability and influence of radiative heat gain", *Ecological Entomology*, 36(6), p. 686. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2311.2011.01313.x>
- Kraus, B., Velthuis, H.H.W. y Tingeke, S. (1998) "Temperature profiles of the brood nests of *Apis cerana* and *Apis mellifera* colonies and their relation to varroosis", *Journal of Apicultural Research*, 37(3), pp. 175-181. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/00218839.1998.11100969>
- Kridi, D.S., De Carvalho, C.G.N. y Gomes, D.G. (2016) "Application of wireless sensor networks for beehive monitoring and in-hive thermal patterns detection", *Computers and Electronics in Agriculture*, 127, pp. 221-235. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.COMPAG.2016.05.013>
- Kronenberg, F. y Heller, H.C. (1982) "Colonial thermoregulation in honey bees (*Apis mellifera*)", *Journal of Comparative Physiology A: Neuroethology, Sensory, Neural, and Behavioral Physiology*, 148(1), pp. 65-76. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/BF00688889>
- Kühnholz, S. y Seeley, T.D. (1997) "The control of water collection in honey bee colonies", *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 41(6), pp. 407-422. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/S002650050402>
- Kumar Gupta, R. et al. (2014) "Beekeeping for poverty alleviation and livelihood security: Vol.1: Technological aspects of beekeeping". Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/355022433_Beekeeping_for_Poverty_Alleviation_and_Livelihood_Security_Vol_1_Technological_Aspects_of_Beekeeping_PDF_Drive_dlotvetgovet_was_first_indexed_by_Google_in_March_2021 (Acceso: Julio 21, 2025).
- Kuropatnicki, A.K., Szliszka, E. y Krol, W. (2013) "Historical Aspects of Propolis Research in Modern Times", *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2013(1), p. 964149. Disponible en: <https://doi.org/10.1155/2013/964149>
- Lautenbach, S., Seppelt, R., Liebscher, J. y Dormann, C.F. (2012) "Spatial and Temporal Trends of Global Pollination Benefit", *PLOS ONE*, 7(4), p. e35954. Disponible en: <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0035954>
- Lee Honey Bee (2025) *10-frame Langstroth*. Disponible en: <https://leehoneybee.com/honey-bee-hive/Bee-Hive-Bottom-Board-10-frame-Langstroth-Assembled-p87577672> (Acceso: Agosto 9, 2025).
- Lepkova, T., Lakov, L. y Aleksandrova, M. (2022) "Studing the temperature microclimate in beehives made out of defferent materials", *Innovations*, 10(2), pp. 91-92. Disponible en: <https://stumejournals.com/journals/innovations/2022/2/91.full.pdf> (Acceso: Julio 20, 2025).

- Leza, M., Herrera, C., Marques, A., Roca, P., Sastre-Serra, J. y Pons, D.G. (2019) "The impact of the invasive species *Vespa velutina* on honeybees: A new approach based on oxidative stress", *Science of The Total Environment*, 689, pp. 709-715. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2019.06.511>
- Li, Z., Huang, Z.Y., Sharma, D.B., Xue, Y., Wang, Z., y Ren, B. (2016) "Drone and Worker Brood Microclimates Are Regulated Differentially in Honey Bees, *Apis mellifera*", *PLOS ONE*, 11(2), e0148740. Disponible en: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0148740>
- Liang, Q., Chen, D. y Wang, J. (2000) "Effects of temperature, relative humidity and pH on germination of chalkbrood fungus, *Ascosphaera apis* spore", *Chinese Journal of Applied Ecology*, (6), p. 869. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11767561/> (Acceso: Julio 25, 2025).
- Lindauer, M. (1955) "The Water Economy and Temperature Regulation of the Honeybee Colony", *Bee World*, 36(5), pp. 81-92. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/0005772X.1955.11094876>
- Lindauer, M. (1961) "Communication among Social Bees: Revised Edition". Cambridge. Harvard University Press.
- Lorenzon, M.C.A., Cidreira, R.G., Rodrigues, E.H.V., Dornelles, M.S. y Pereira Jr, G. (2004) "Langstroth hive construction with cement-vermiculite", *Scientia Agricola*, 61(6), pp. 573-578. Disponible en: <https://doi.org/10.1590/S0103-90162004000600002>
- Lu, Y., Hong, W., Wu, W., Zhang, J., Li, S. y Liu, S. (2026) "Comfort temperature assessment for honeybee colonies based on long-term monitoring", *Expert Systems with Applications*, 296, p. 129207. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.ESWA.2025.129207>
- Mattila, H.R., Harris, J.L. y Otis, G.W. (2001) "Timing of production of winter bees in honey bee (*Apis mellifera*) colonies", *Insectes Sociaux*, 48(2), pp. 88-93. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/PL00001764>
- McAfee, A., Chapman, A., Higo, H., Underwood, R., Milone, J., Foster, L.J., Guarna, M.M., Tarp, D.R. y Pettis, J.S. (2020) "Vulnerability of honey bee queens to heat-induced loss of fertility", *Nature Sustainability*, 3(5), pp. 367-376. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/s41893-020-0493-x>
- McVeigh, A., Newton, M.I., Tsakonas, C. y Bencsik, M.A. (2022) "A Spatially Resolved Temperature Measurement System for a Honeybee Colony Brood Box", *Engineering Proceedings 2023*, 31(1), p. 57. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/ASEC2022-13755>
- Meikle, W.G., Barg, A. y Weiss, M. (2022) "Honey bee colonies maintain CO2 and temperature regimes in spite of change in hive ventilation characteristics", *Apidologie*, 53(51), pp. 1-13. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s13592-022-00954-1>
- Meikle, W.G. y Holst, N. (2015) "Application of continuous monitoring of honeybee colonies", *Apidologie*, 46(1), pp. 10-22. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/S13592-014-0298-x>
- De Mendiburu, F. (2006) "agricolae: Statistical Procedures for Agricultural Research". *R package version 1.3-7*. Disponible en: <https://doi.org/10.32614/CRAN.PACKAGE.AGRICOLAE>

- Min, S., Lee, K.Y, Lee, Y.B., Park, B.S., Lee, D., Kim, H., Son, M. y Kim, s. (2024) "Simulating Honeybee (*Apis mellifera*) Winter Mortality Rate under Climate Change Scenarios: Development and Application of Meteorological Index-Based Predictive Models", *Journal of Apiculture*, 39(4), pp. 277-306. Disponible en: <https://doi.org/10.17519/APICULTURE.2024.11.39.4.277>
- Minaud, É., Rebaudo, F., Davidson, P., Hatjina, F., Hotho, A., Mainardi, G., Steffan-Dewenter, I., Vardakas, P., Verrier, E. y Requier, F (2024) "How stressors disrupt honey bee biological traits and overwintering mechanisms", *Heliyon*, 10(14), p. e34390. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.HELİYON.2024.E34390>
- Minaud, E., Rebaudo, F., Mainardi, G., Vardakas, P., Hatjina, F., Steffan-Dewenter, I. y Requier, F. (2024) "Temperature in overwintering honey bee colonies reveals brood status and predicts colony mortality", *Ecological Indicators*, 169, p. 112961. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2024.112961>
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (2025a) *PRECIOS MIEL – CAMPAÑA 2024/2025*. Disponible en: <https://www.mapa.gob.es/dam/mapa/contenido/estadisticas/temas/estadisticas-agrarias/1.economicas/precios-coyunturales-de-productos-ganaderos/precios-sector-miel/informesectorial-miel-24-25.pdf> (Acceso: Julio 22, 2025).
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (2025b) *Sector apícola*. Disponible en: <https://www.mapa.gob.es/es/ganaderia/temas/produccion-y-mercados-ganaderos/sectores-ganaderos/apicola> (Acceso: Julio 17, 2025).
- Mitchell, D. (2023) "Honeybee cluster - Not insulation but stressful heat sink", *Journal of the Royal Society Interface*, 20(208). Disponible en: <https://doi.org/10.1098/RSIF.2023.0488>
- Mountford-McAuley, R., Prior, J. y Clavijo McCormick, A. (2023) "Factors affecting propolis production", *Journal of Apicultural Research*, 62(1), pp. 162-170. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/00218839.2021.1938456>
- MyCircuits (2023) *The Sentinel board*. Disponible en: <https://github.com/MyCircuitsTV/Sentinel> (Acceso: Enero 14, 2025).
- Nicolson, S.W. (2009) "Water homeostasis in bees, with the emphasis on sociality", *Journal of Experimental Biology*, 212(3), pp. 429-434. Disponible en: <https://doi.org/10.1242/JEB.022343>
- Norrström, N., Niklasson, M. y Leidenberger, S. (2021) "Winter weight loss of different subspecies of honey bee *Apis mellifera* colonies (Linnaeus, 1758) in southwestern Sweden", *PLOS ONE*, 16(10), p. e0258398. Disponible en: <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0258398>
- Nürnberg, F., Härtel, S. y Steffan-Dewenter, I. (2018) "The influence of temperature and photoperiod on the timing of brood onset in hibernating honey bee colonies", *PeerJ*, 2018(5), p. e4801. Disponible en: <https://doi.org/10.7717/PEERJ.4801>
- Odemer, R. (2022) "Approaches, challenges and recent advances in automated bee counting devices: A review", *Annals of Applied Biology*, 180(1), pp. 73-89. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/AAB.12727>
- Ostwald, M.M., Da Silva, C.R.B. y Selmann, K.C. (2024) "How does climate change impact social bees and bee sociality?", *Journal of Animal Ecology*, 93(11), pp. 1610-1621. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/1365-2656.14160>

- Ostwald, M.M., Smith, M.L. y Seeley, T.D. (2016) "The behavioral regulation of thirst, water collection and water storage in honey bee colonies", *Journal of Experimental Biology*, 219(14), pp. 2156-2165. Disponible en: <https://doi.org/10.1242/JEB.139824>
- Pinheiro, J.C. y Bates, D.M. (2000) *Mixed-Effects Models in S and S-PLUS*. Springer, New York. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/b98882>
- Pinheiro, J.C., Bates, D.M. y R Core Team (2024). "nlme: Linear and Nonlinear Mixed Effects Models". *R package version 3.1-165*. Disponible en: <https://CRAN.R-project.org/package=nlme> (Acceso: Junio 20, 2025).
- Pfeiffer, K.J. y Crailsheim, K. (1998) "Drifting of honeybees", *Insectes Sociaux*, 45(2), pp. 151-167. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/S000400050076>
- Rajagopalan, K., DeGrandi-Hoffman, G., Pruett, M., Jones, V.P., Corby-Harris, V., Pireaud, J., Curry, R., Hopkins, B. y Northfield, T.D. (2024) "Warmer autumns and winters could reduce honey bee overwintering survival with potential risks for pollination services", *Scientific Reports*, 14(1), pp. 1-11. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/S41598-024-55327-8>
- Ramsey, M.T., Bencsik, M., Newton, M.I., Reyes, M., Pioz, M., Crauser, D., Delso, N.S. y Le Conte, Y. (2020) "The prediction of swarming in honeybee colonies using vibrational spectra", *Scientific Reports*, 10(1), pp. 1-17. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-66115-5>
- R Core Team (2024) *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponible en: <https://www.R-project.org/> (Acceso: Junio 15, 2025).
- Ribeiro Pereira, G. C. O., Barchuk, A. R. y do Valle Teixeira, I. R. (2009) "Environmental factors influencing propolis production by the honey bee *Apis mellifera* in Minas Gerais State, Brazil", *Journal of apicultural research*, 48(3), pp. 176-180. Disponible en: <https://doi.org/10.3896/IBRA.1.48.3.05>
- Ricke, D.F., Lin, C.H. y Johnson, R.M. (2021) "Pollen Treated with a Combination of Agrochemicals Commonly Applied During Almond Bloom Reduces the Emergence Rate and Longevity of Honey Bee (Hymenoptera: Apidae) Queens", *Journal of insect science*, 21(6). Disponible en: <https://doi.org/10.1093/JISESA/IEAB074>
- Rodias, E. y Kilimpas, V. (2024) "Remote Monitoring of Bee Apiaries as a Tool for Crisis Management", *AgriEngineering*, 6(3), pp. 2269-2282. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/agriengineering6030133>
- Rosenkranz, P., Aumeier, P. y Ziegelmann, B. (2010) "Biology and control of *Varroa destructor*", *Journal of invertebrate pathology*, 103 Suppl 1, pp. S96-S119. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.JIP.2009.07.016>
- Rowe, E.B., Prathibha, P., Marting, P. R. y Smith, M. L. (2025) "Honey bee beards: internal and external factors driving mass thermoregulatory evacuation", *Insectes Sociaux*, pp. 1-11. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/S00040-025-01046-w>
- Rubiano-Navarrete, A. F., Lesmes Fabian, C., Torres-Pérez, Y. y Gómez-Pachón, E. Y. (2022) "Durability Evaluation of New Composite Materials for the Construction of Beehives", *Sustainability*, 14(22), 14683. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/su142214683>

- Sadia, F.T., Hossain, M.S., Begum, R. y Sujan, M.H.K. (2021) "Comparative profitability analysis and resource use efficiency of beekeeping using wooden and poly hive in some selected areas of Bangladesh", *International Journal of Agricultural Research, Innovation and Technology*, 11(1), pp. 84-91. Disponible en: <https://doi.org/10.22004/AG.ECON.312386>
- Satta, A. y Floris, I. (2004) "Effects of the cork on the thermal insulation and the thermoregulation of beehive [Sardinia]", *APOidea*, 1(80-87).
- Seeley, T.D. y Morse, R.A. (1976) "The nest of the honey bee (*Apis mellifera* L.)", *Insectes Sociaux*, 23(4), pp. 495-512. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/BF02223477>
- Senger, D., Gruber, C., Kluss, T. y Johannsen, C. (2024) "Weight, temperature and humidity sensor data of honey bee colonies in Germany, 2019-2022", *Data in Brief*, 52, p. 110015. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.DIB.2023.110015>
- Sensirion (2025) *SHT31-DIS-F-±2% Digital humidity and temperature sensor with filter membrane*, 2023. Disponible en: <https://sensirion.com/products/catalog/SHT31-DIS-F> (Acceso: Enero 14, 2025).
- Severson, D.W. y Erickson, E.H. (1990) "Quantification of cluster size and low ambient temperature relationships in the honey bee", *Apidologie*, 21(2), pp. 135-142. Disponible en: <https://doi.org/10.1051/APIDO:19900207>
- Siddiqui, S.A., Singh, S., Bahmid, N.A., Shyu, D.J.H., Domínguez, R., Lorenzo, J.M., Pereira, J.A.M. y Câmara, J.S. (2023) "Polystyrene microplastic particles in the food chain: Characteristics and toxicity - A review", *Science of The Total Environment*, 892, p. 164531. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2023.164531>
- smartbee (2025) *smartbee | Localización GPS de colmenas*. Disponible en: <https://smartbee.es/> (Acceso: Julio 23, 2025).
- Smith, M.L., Marting, P.R., Bailey, C.S., Chuttong, B., Maul, E.R., Molinari, R. Prathibha, P., Rowe, E.B., Spott, M.R. y Koger, B. (2024) "Form, function, and evolutionary origins of architectural symmetry in honey bee nests", *Current Biology*, 34(24), pp. 5813-5821.e5. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.CUB.2024.10.022>
- Southwick, E.E. y Heldmaier, G. (1987) "Temperature Control in Honey Bee Colonies", *BioScience*, 37(6), pp. 395-399. Disponible en: <https://doi.org/10.2307/1310562>
- St. Clair, A.L., Beach, N.J. y Dolezal, A.G. (2022) "Honey bee hive covers reduce food consumption and colony mortality during overwintering", *PLOS ONE*, 17(4), e0266219. Disponible en: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0266219>
- De Souza, M.D.F.P., Turco, S.H.N., Silva, E.M.S., Costa, D. S. y Freire, M.S. (2015) "Internal ambience of beehives *Apis mellifera* with different colors and roofing materials in the sub middle of the São Francisco Valley", *Engenharia Agrícola*, 35(4), pp. 625-634. Disponible en: <https://doi.org/10.1590/1809-4430-ENG.AGRIC.V35N4P625-634/2015>
- Stabentheiner, A., Kovac, H. y Brodschneider, R. (2010) "Honeybee Colony Thermoregulation - Regulatory Mechanisms and Contribution of Individuals in Dependence on Age, Location and Thermal Stress", *PLOS ONE*, 5(1), p. e8967. Disponible en: <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0008967>

- Stabentheiner, A., Kovac, H., Mandl, M. y Käfer, H. (2021) "Coping with the cold and fighting the heat: thermal homeostasis of a superorganism, the honeybee colony", *Journal of Comparative Physiology A: Neuroethology, Sensory, Neural, and Behavioral Physiology*, 207(3), pp. 337-351. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/S00359-021-01464-8>
- Stabentheiner, A., Pressl, H., Papst, T., Hrassnigg, N. y Crailsheim, K. (2003) "Endothermic heat production in honeybee winter clusters", *Journal of Experimental Biology*, 206(2), pp. 353-358. Disponible en: <https://doi.org/10.1242/JEB.00082>
- Stalidzans, E. y Berzonis, A. (2013) "Temperature changes above the upper hive body reveal the annual development periods of honey bee colonies", *Computers and Electronics in Agriculture*, 90, pp. 1-6. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.COMPAG.2012.10.003>
- Stalidzans, E., Bilinskis, V. y Berzonis, A. (2002) "Determination of development periods of honeybee colony by temperature in hive in latvia, year 2000", *Apiacta*, 3. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/242402650_Determination_of_development_periods_of_honeybee_colony_by_temperature_in_hive_in_latvia_year_2000 (Acceso: Julio 9, 2025).
- Starks, P.T. y Gilley, D.C. (1999) "Heat shielding: A novel method of colonial thermoregulation in honey bees", *Naturwissenschaften*, 86(9), pp. 438-440. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/S001140050648>
- Stone, G.N. y Willmer, P.G. (1989) "Warm-Up Rates and Body Temperatures in Bees: The Importance of Body Size, Thermal Regime and Phylogeny", *Journal of Experimental Biology*, 147(1), pp. 303-328. Disponible en: <https://doi.org/10.1242/JEB.147.1.303>
- Tan, K., Yang, S., Wang, Z.W., Radloff, S.E. y Oldroyd, B.P. (2012) "Differences in foraging and broodnest temperature in the honey bees *Apis cerana* and *A. mellifera*", *Apidologie*, 43(6), pp. 618-623. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/S13592-012-0136-y>
- Terblanche, J.S., Clusella-Trullas, S. y Lehmann, P. (2024) "How climate change might impact insect movement via physiological mechanisms", *One Earth*, 7(4), pp. 608-622. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.ONEEAR.2024.03.008>
- Terenzi, A., Cecchi, S. y Spinsante, S. (2020) "On the Importance of the Sound Emitted by Honey Bee Hives", *Veterinary Sciences*, 7(4), p. 168. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/VETSCI7040168>
- The Yield Lab (2025) *ApisProtect*. Disponible en: <https://theyieldlab.eu/portfolio-items/apisprotect/> (Acceso: Julio 23, 2025).
- Timeanddate (2025) *Weather in Valencia de Don Juan, León, Spain*. Disponible en: <https://www.timeanddate.com/weather/@6358722> (Acceso: Julio 26, 2025).
- Unión Europea (2018) *Regulation - 2018/848*. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2018/848/oj> (Acceso: Enero 14, 2025).
- Valido, A., Rodríguez-Rodríguez, M.C. y Jordano, P. (2019) "Honeybees disrupt the structure and functionality of plant-pollinator networks", *Scientific Reports*, 9(1), pp. 1-11. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/S41598-019-41271-5>

WBP CIC (2025) *The World Bee Project*. Disponible en: <https://worldbeeproject.org/> (Acceso: Julio 23, 2025).

Zacepins, A., Kviesis, A., Stalidzans, E., Liepniece, M. y Meitalovs, J. (2016) "Remote detection of the swarming of honey bee colonies by single-point temperature monitoring", *Biosystems Engineering*, 148, pp. 76-80. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.BIOSYSTEMSENG.2016.05.012>

Zaman, A. y Dorin, A. (2023) "A framework for better sensor-based beehive health monitoring", *Computers and Electronics in Agriculture*, 210, p. 107906. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.COMPAG.2023.107906>

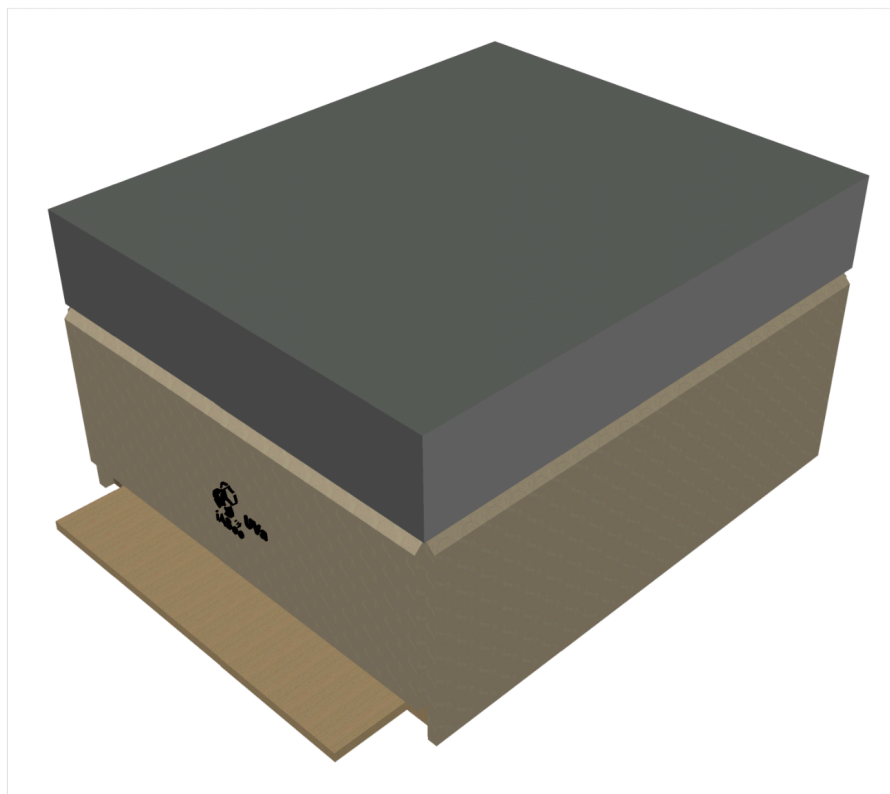
Zero6 (2025) *Aislamiento - Corcho Negro Natural*. Disponible en: <https://www.zero6.es/tienda/productos/aislamientos/corcho-negro/corcho-negro/> (Acceso: Julio 25, 2025).

Zheng, Y., Cao, X., Xu, S., Guo, S., Huang, R., Li, Y., Chen, Y., Yang, L., Cao, X., Idrus, Z. y Sun, H. (2024) "Intelligent beehive monitoring system based on internet of things and colony state analysis," *Smart Agricultural Technology*, 9, p. 100584. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.ATECH.2024.100584>

6. Anexos

Anexo I. Prototipo de colmena aislante instalada en campo

Anexo I.a. Vista isométrica frontal 3D



LEYENDA:



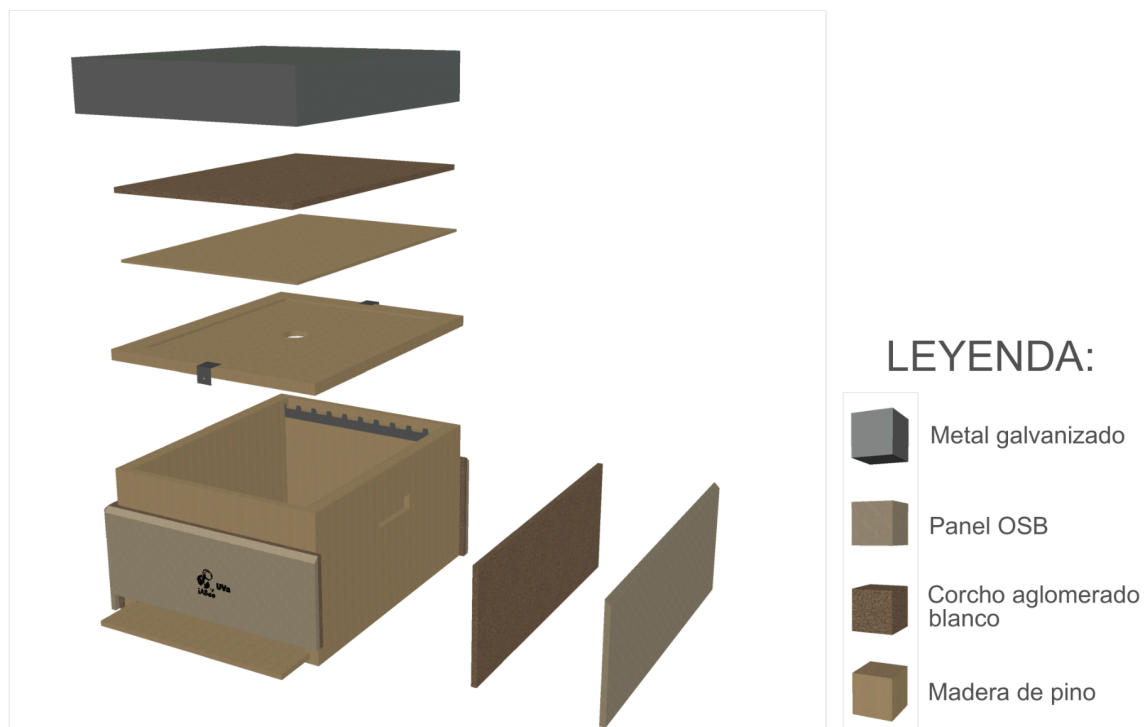
Anexo I.b. Vista isométrica frontal 3D con corte transversal



LEYENDA:



Anexo I.c. Vista isométrica frontal 3D con piezas separadas



Anexo II. Modelo de utilidad registrado

P202330492
13-06-2023

RESUMEN

Colmena, que tiene una cámara de cría (1) formada a su vez por unas paredes laterales (2), dicha cámara de cría (1) albergando en su interior unos cuadros (3) soporte de panales, y siendo cerrada mediante una tapa (4) y un suelo (5). La colmena tiene una piquera (6) para la entrada y salida de las abejas. Las paredes laterales (2) de la cámara de cría (1) están realizadas en paneles, formado cada uno de ellos por al menos una capa exterior (8) y una capa interior (9).

P202330492
13-06-2023**DESCRIPCIÓN****Título**

5 Colmena

Campo de la invención

10 La presente invención pertenece al sector apícola, concretamente al campo de las colmenas, y más concretamente al uso de colmenas para colonias de abejas melíferas. La presente invención se refiere a una colmena que presenta medios adecuados de aislamiento para mejorar la producción apícola y el bienestar animal.

Antecedentes de la invención

15 La abeja melífera es uno de los seres vivos más importantes del planeta: ayudan a la polinización del 75% de alimentos de origen vegetal y contribuyen al mantenimiento de la biodiversidad de numerosas especies de flora. Sin embargo, la abeja está siendo también una de las especies más castigadas en el Antropoceno, viéndose gravemente

20 afectada a causa de los agroquímicos nocivos, la entrada de especies invasoras, la aparición de nuevas enfermedades y el calentamiento global, entre otros factores. Este último componente resulta uno de los más preocupantes en los últimos años: el verano cada vez es más largo, más seco y con temperaturas más extremas. Además son más comunes los eventos meteorológicos extremos, como las olas de frío o de calor.

25 Las colmenas más utilizadas en la actualidad son las colmenas de madera de pino con cuadros móviles, ideadas por Langstroth, que facilitan el manejo de las colonias ahorrando tiempo y mejorando la producción: permiten la fácil extracción de los productos apícolas, el desplazamiento de los cuadros, así como el tratamiento frente a

30 diversas enfermedades que amenazan la supervivencia de las abejas. Sin embargo, presentan la desventaja de no poseer las mejores condiciones aislantes frente al frío invernal que podría hacer morir de hambre a una colonia ni contra el calor estival que podría deshacer sus paneles de cera y acabar con la colonia por golpe de calor. Existen diversas variantes de estas colmenas de Langstroth, tales como las de

35 Dadant, Layens, etc., que difieren en sus dimensiones y/o la posición de sus módulos,

pero que están del mismo modo construidas en madera de pino, presentando las mismas desventajas de aislamiento que las del diseño Langstroth.

5 Tradicionalmente, hasta la invención de las colmenas de cuadros móviles, fue muy utilizada la colmena cilíndrica de corcho en las áreas con alcornocales naturales o en su defecto, con troncos de otras especies forestales (roble, castaño, etc). Era popularmente conocida como “truébano” y fue concebida por los primeros apicultores al imitar la naturaleza: Antaño, cuando había aún abejas melíferas silvestres, sus enjambres formaban panales en el interior de árboles huecos, de modo que las ramas
10 y hojas de estos proporcionaban sombra al enjambre en los momentos más calurosos del verano. En invierno, al desaparecer las hojas, el sol llegaba hasta el tronco, calentando el enjambre alojado en su interior. De este modo, los primeros apicultores de estas zonas comenzaron la domesticación de la abeja situando sus enjambres en el interior de troncos huecos de alcornoque, cuyo corcho era buen aislante térmico
15 tanto en épocas frías como calurosas. Sin embargo, este sistema no permitía una extracción efectiva de los productos de la colmena sin dañar la estructura del panal, de modo que debido a su baja productividad fue abandonado por la apicultura profesional.

20 Del mismo modo ha ocurrido con la colmena de paja tradicional, muy utilizada en áreas poco forestales del resto del Mediterráneo y en Oriente, fabricada a partir de las fibras de diversas plantas (cereal, mimbre, etc.) y mezclada en ocasiones con barro, para generar también una película aislante.

25 Fruto de la globalización, en los años 80 apareció en España el ácaro invasor Varroa destructor, originario de Asia, que parasita la abeja melífera, alimentándose de su hemolinfa y grasa corporal, suponiendo además un vector de transmisión de diferentes virus. Esta plaga se extendió rápidamente por todo el mundo, afectando a la mayoría de colonias de abejas y poniendo en grave riesgo su supervivencia. Las consecuencias de esta afección, a la larga mortales, en las colonias de abejas, obligó
30 el paso de las colmenas tradicionales a las de cuadros móviles, para permitir el acceso no destructivo a los panales de abejas y asegurar su tratamiento eficaz.

En la actualidad, el único modelo de colmena existente en el mercado para la mejora de las condiciones higrotérmicas de las abejas melíferas frente a las actuales
35 colmenas de madera, son las colmenas de poliestireno. Sin embargo, estas colmenas

no son permitidas en la obtención del sello ecológico al estar fabricadas con derivados plásticos, ya que puede favorecer la presencia de microplásticos en los productos apícolas. Además su precio es elevado frente a las colmenas convencionales, con escasa durabilidad y baja sostenibilidad en comparación, siendo un producto poco competitivo.

También ha surgido en los últimos años un nuevo modelo de colmena tecnológicamente revolucionaria, denominado “flow hive”, aunque presenta una serie de problemas graves que se desarrollan a continuación. Este nuevo sistema consiste en una colmena fabricada por completo a partir de plástico, característica que de nuevo la hace incompatible con una producción ecológica, cada vez más demandada en el mercado. Esta colmena está diseñada con dimensiones Langstroth pero cuenta con unos cuadros articulados que permiten extraer la miel desde la propia colmena sin la necesidad de transportar los panales al obrador donde son centrifugados en un extractor de miel.

Mediante una manivela, este sistema desacopla las paredes del cuadro de plástico, permitiendo el transcurso de la miel a través de la pared interior de cada celda donde aparece un hueco hacia un conducto situado en la zona central del cuadro. Desde este punto, se reconduce la miel a través de una serie de tuberías que une toda la red y permite la salida de la miel a través de un grifo situado en el exterior de la colmena. Por tanto, el sistema se presenta como un modo sencillo y práctico de extracción de miel en la colmena, directamente al tarro. Sin embargo, presenta graves problemas como; pérdidas de abejas al introducirse en las tuberías del sistema, no se incluye ningún filtro previo al envasado de la miel en tarros, la duración de los cuadros a largo plazo es complicada por el atasco de la red de tuberías y precio elevado entre otras desventajas hacen que sea un producto poco competitivo en el mercado.

Por tanto, debido a todas estas razones, la gran mayoría de los apicultores siguen utilizando las colmenas convencionales de madera, intentando mejorar el aislamiento térmico de las colmenas mediante métodos rudimentarios: colocando un poncho bajo la tapa del habitáculo en invierno y pintando el exterior de esta tapa de color blanco en verano, los cuales no son métodos eficaces.

P202330492
13-06-2023

Es por tanto deseable una colmena que proporcione un aislamiento eficiente, de forma sencilla y natural, evitando los inconvenientes de los sistemas existentes en el estado de la técnica.

5 Descripción de la invención

La presente invención resuelve los problemas existentes en el estado de la técnica mediante una colmena que presenta una cámara de cría formada a su vez por unas paredes laterales, y que alberga en su interior unos cuadros soporte de panales, siendo cerrada la cámara de cría mediante una tapa y un suelo. Adicionalmente la colmena tiene al menos una piquera para la entrada y salida de las abejas, que de forma preferente estará dispuesta en el suelo de la colmena.

De acuerdo con la presente invención, las paredes laterales están realizadas en paneles, dichos paneles formados por al menos una capa exterior y una capa interior. Según diferentes realizaciones particulares de la invención, tanto la capa exterior como la capa interior pueden estar realizadas en diferentes materiales.

Por ejemplo, o bien la capa exterior, o la capa interior, o ambas, podrían estar realizadas en fibra natural aislante, y particularmente en fibra natural aislante de baja densidad.

Preferentemente, la fibra natural aislante puede ser aglomerado de corcho blanco, aglomerado de corcho negro, fibras de madera, celulosa, combinación de todos éstos, u otras fibras de naturaleza lignocelulósica.

El uso de la fibra natural aislante de baja densidad generaría una colmena más ligera, facilitando su manipulación por parte del apicultor, quien sufriría de menos lesiones de espalda, frecuentes en su trabajo. El coste de transporte de colmenas sería más competitivo, especialmente para los apicultores trashumantes, que cada año viajan cientos de kilómetros en búsqueda de nuevas floraciones a donde trasladar sus numerosas colmenas. Además, esta fibra natural aislante favorece las condiciones higrotérmicas de la colonia de abejas y mejora la producción apícola, cumpliendo a su vez las funciones prácticas de una colmena moderna en cuanto a existencia de cuadros móviles, dimensiones estandarizadas y durabilidad. Esta fibra natural aislante

P202330492
13-06-2023

De acuerdo con realizaciones particulares de la colmena objeto de la presente invención, ésta tiene una entretapa dispuesta entre la tapa y la cámara de cría.

- 5 Según una realización preferente de la invención, la colmena tiene un sistema electrónico para la medición, almacenamiento y transmisión de parámetros medioambientales y físico acústicos.

- 10 Preferentemente, este sistema puede tener sensores de temperatura y humedad, es decir, sensores higrotérmicos, dispuestos en el interior y el exterior de la colmena, así como sensores acústicos y células de carga.

- 15 La integración de este sistema electrónico en las colmenas permite la toma continua de variables con relevante importancia para el apicultor, permitiéndole conocer información muy valiosa como:

- El periodo de actividad de las abejas al día, directamente relacionado con el tiempo de pecoreo durante el cual las abejas obreras llevan néctar, polen y propóleo a la colonia.
- El riesgo de sobrecalentamiento de la colonia en verano, extrapolable a las necesidades hídricas requeridas en las cercanías de la colmena para que las abejas logren disminuir la temperatura mediante la evaporación de agua en el interior de los panales.
- La anticipación a la enjambrazón, momento de reproducción de la colonia.
- El momento de formación del racimo invernal, estrategia de supervivencia de la colonia donde las abejas obreras protegen a la reina del frío envolviéndola con sus cuerpos y cambiando su posición cuando las del exterior de la bola comienzan a enfriarse.
- La humedad existente durante el periodo invernal, muy influyente en la aparición de enfermedades apícolas.
- Detectar si hay reina o no en la colmena.
- Determinar el mejor momento de recogida de la miel, sin riesgo de que se produzca fermentación

- 35 Mediante este sistema electrónico integrado en las colmenas se consigue una colmena inteligente con un diseño enfocado a mejorar las condiciones higrotérmicas y

P202330492
13-06-2023

digitalizar las colonias de abeja melífera. La adecuación del medio interior de la colmena hacia condiciones ambientales más propicias para el ciclo biológico de estos insectos permitirá mejorar la producción apícola y bienestar animal del sector. Mientras que la integración de sensores en la toma de datos de la colonia, aportará al apicultor

5 información valiosa de modo automático y continuo, ayudándole a adecuar sus visitas al apiario a cuando realmente sean necesarias, adaptando su manejo y favoreciendo su capacidad de respuesta ante emergencias de la colonia, con la consecuente mejora productiva y reducción de costes derivados de actuaciones innecesarias.

10 El presente sistema electrónico puede incorporar una red sensorial que permite el manejo remoto y adaptativo de las colmenas, así como la aplicación de algoritmos para la estimación de estados y producción

Breve descripción de los dibujos

15 A continuación, para facilitar la comprensión de la invención, a modo ilustrativo pero no limitativo se describirá una realización de la invención que hace referencia a una serie de figuras.

20 La figura 1 muestra una vista en perspectiva de una realización de la colmena objeto de la presente invención, con su tapa, suelo y entretapa separadas de la cámara de cría para mayor claridad en la apreciación de los elementos esenciales.

25 La figura 2 es una vista en perspectiva de la cámara de cría de la colmena de la presente invención en la que se ha retirado una de las paredes laterales para mostrar con claridad los paneles tipo sándwich de las paredes laterales.

30 La figura 3 es una vista en perspectiva de la cámara de cría de la figura 2 con las paredes laterales separadas para mostrar éstas con mayor claridad.

La figura 4 es una vista en perspectiva de la cámara de cría de la colmena de la presente invención, similar a la de la figura 4, en la que se ha retirado una de las paredes laterales para mostrar en este caso los paneles formados por únicamente una capa exterior y una capa interior.

35

P202330492
13-06-2023

La figura 5 es una vista en perspectiva inferior de una realización de la tapa de la colmena de la presente invención mostrando sus componentes principales.

La figura 6 es una vista en perspectiva de la tapa de la figura 5 con sus componentes
5 separados para mostrar éstos con mayor claridad.

La figura 7 es una vista en perspectiva inferior de la tapa de las figuras 5 y 6 en la que se ha retirado un lateral de ésta para mostrar los diferentes componentes.

10 En estas figuras se hace referencia a un conjunto de elementos que son:

1. cámara de cría
2. paredes laterales de la cámara de cría
3. cuadros soporte de panales
4. tapa
- 15 5. suelo
6. piquera
7. entretapa
8. capa exterior de las paredes laterales
9. capa interior de las paredes laterales
- 20 10. capa intermedia de las paredes laterales
11. cara externa de la tapa
12. plancha interior de la tapa
13. elementos de unión metálicos de la tapa
14. chapa de madera de la tapa
- 25 15. sistema electrónico

Descripción detallada de la invención

El objeto de la presente invención es una colmena, para colonias de abejas, con
30 medios de aislamiento para mejorar la producción apícola y el bienestar animal.

Tal y como se puede observar en las figuras, la colmena tiene una cámara de cría (1), la cual está formada a su vez por unas paredes laterales (2), y que alberga en su interior unos cuadros soporte (3) de panales. Como se observa de forma clara en la
35 figura 1, la cámara de cría (1) queda cerrada superiormente mediante una tapa (4) que

P202330492
13-06-2023

5 protegerá la cámara de cría (1) de la lluvia y otras inclemencias del tiempo, e inferiormente mediante un suelo (5), que podrá ser rígido o de tipo sanitario. Adicionalmente la colmena tiene al menos una piquera para la entrada y salida de las abejas, que de forma preferente estará dispuesta en el suelo (5), como se aprecia en la figura 1.

10 Según se puede ver en las figuras, las paredes laterales (2) están realizadas en paneles, dichos paneles formados por al menos una capa exterior (8) y una capa interior (9).

15 Estas paredes laterales (2) se unen entre sí mediante diversas técnicas, tales como cuadriculado, colas de milano, machihembrado, tirafondos, clavos, cola, etc. Preferentemente las paredes laterales (2) contarán con zonas laterales de agarre que favorecen transporte de la colmena y extracción de productos apícolas, tanto de forma manual por un operario, como de forma mecanizada mediante una grúa.

Según diferentes realizaciones particulares de la invención, tanto la capa exterior (8) como la capa interior (9) pueden estar realizadas en diferentes materiales.

20 Por ejemplo, o bien la capa exterior (8), o la capa interior (9), o ambas, podrían estar realizadas en fibra natural aislante, y particularmente en fibra natural aislante de baja densidad.

25 Según una realización preferente de la invención, esta fibra natural aislante puede ser aglomerado de corcho blanco, aglomerado de corcho negro, fibras de madera, celulosa, combinación de todos éstos u otras fibras de naturaleza lignocelulósica.

30 Alternativamente a lo anterior, o bien la capa exterior (8), o bien la capa interior (9), o ambas, pueden estar realizadas en materiales plásticos, como por ejemplo poliestireno extruido de alta densidad, aunque podría ser cualquier otro, que presentan la ventaja de cumplir con los requisitos de aislamiento a un precio más económico que las capas realizadas en fibras naturales.

35 Según una realización particular de la invención, las paredes laterales (2) pueden estar realizadas en paneles tipo sándwich, en las que cada uno de los paneles presenta

P202330492
13-06-2023

adicionalmente una capa intermedia (10). Esta capa intermedia (10) aumenta la función aislante de las paredes laterales (2).

5 Igualmente, y según diferentes combinaciones con las anteriores realizaciones de las otras capas, esta capa intermedia (10) puede estar realizada en diferentes materiales, tales como fibra natural aislante o plástico entre otros.

10 Así, si por ejemplo, la capa intermedia (10) está realizada en fibra natural, que ya cumple con su función de proporcionar un recubrimiento ligero y aislante, la capa interior (9) puede estar realizado en otro material diferente, y esta capa interior (9) protegerá al material de esta capa intermedia (10) frente a la propia actividad de las abejas que propolizan y podrían triturar con sus pequeñas mandíbulas los materiales que les resultan extraños y poseen una baja densidad como esta fibra natural si estuviera en contacto directo con las abejas.

15 Además, de acuerdo con realizaciones particulares de la invención, la tapa (4) tiene una cara externa (11) realizada en material metálico y una plancha interior (12) realizada en fibra natural aislante, la cual se une a la cara externa (11) mediante elementos de unión (13) metálicos. Estos elementos de unión (13) metálicos aumentan la resistencia de la tapa (4) frente a golpes.

20 De forma preferente la tapa (4) posteriormente incluye una chapa de madera (14), quedando la plancha interior (12) realizada en fibra natural protegida entre la cara externa (11) y la chapa de madera (14). Preferentemente la tapa (4) presenta una extensión en su plancha interior (12) que permite levantar la tapa (4) a una distancia suficiente para permitir la introducción de comederos, alimentos y otros útiles apícolas.

25 De acuerdo con realizaciones particulares de la colmena objeto de la presente invención, ésta tiene una entretapa (7) dispuesta entre la tapa (4) y la cámara de cría (1), tal y como se observa en la figura 1.

30 Según una realización preferente de la invención, la colmena tiene un sistema electrónico (15) para la medición, almacenamiento y transmisión de parámetros medioambientales, físicos y acústicos, que se muestra esquemáticamente en la figura 1. Preferentemente, este sistema electrónico (15) puede tener un abanico de sensores

P202330492
13-06-2023

como: temperatura y humedad dispuestos en el interior y el exterior de la colmena, sensores acústicos y células de carga, entre otros.

- Los sensores podrán integrarse en el interior de la colmena de modo que permitan el
- 5 monitoreo preciso de las variables humedad y temperatura, aunque irán conectados a un circuito presente en una caja exterior, para facilitar su reparación y modificación. Los elementos electrónicos que se dirijan al interior de la colmena, como determinados sensores, serán recubiertos por una malla protectora que evite su propolización por las abejas o manchado por otros productos de la colmena, aumentando su vida útil y
- 10 operatividad, mientras que el circuito exterior presentará una cubierta IP67 que lo proteja de la meteorología. La batería del sistema electrónico (15) podrá ser conectada a una placa fotovoltaica con inversor de modo que la alimentación eléctrica se asegure a lo largo del tiempo. Sin embargo, no será completamente necesario al incluir un sistema de encendido-apagado con reloj programador que optimice la durabilidad de
- 15 las baterías a más de una temporada apícola. Preferentemente se implementará un sistema de telecomunicaciones, inicialmente consistente en radiodifusión que permitirá el envío de los datos en un radio de 9 km. En la normativa española está contemplado una distancia mínima entre apiarios y núcleos urbanos de 400 m, de modo que numerosos apicultores poseen sus apiarios dentro de este rango de distancia para
- 20 evitar desplazamientos mayores. El sistema de envío de datos mediante radiodifusión será más económico y sencillo frente a otros métodos, y aportará al prototipo una ventaja significativa en numerosos clientes interesados. En función de la casuística de instalación se pueden incorporar otros sistemas de telecomunicaciones como envío Bluetooth, WiFi, red móvil o a través de satélite, para el envío de datos en zonas
- 25 aisladas como áreas montañosas.

P202330492
13-06-2023

REIVINDICACIONES

1. Colmena, que comprende una cámara de cría (1) que comprende a su vez unas paredes laterales (2), dicha cámara de cría (1) albergando en su interior unos
5 cuadros (3) soporte de panales, y siendo cerrada mediante una tapa (4) y un suelo (5), comprendiendo la colmena adicionalmente una piquera (6) configurada para la entrada y salida de las abejas, caracterizada por que las paredes laterales (2), están realizadas en paneles, comprendiendo cada uno de ellos al menos una capa exterior (8) y una capa interior (9).
- 10 2. Colmena, según la reivindicación 1, en la que la capa exterior (8) está realizada en fibra natural aislante.
3. Colmena, según la reivindicación 1, en la que la capa exterior (8) está realizada
15 en plástico.
4. Colmena, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en la que la capa interior (9) está realizada en fibra natural aislante.
- 20 5. Colmena, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en la que la capa interior (9) está realizada en plástico.
- 25 6. Colmena, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en la que las paredes laterales (2) están realizadas en paneles tipo sándwich, comprendiendo cada uno de ellos adicionalmente una capa intermedia (10).
7. Colmena, según la reivindicación 6, en la que la capa intermedia (10) está realizada en fibra natural aislante.
- 30 8. Colmena, según la reivindicación 6, en la que la capa intermedia (10) está realizada en plástico.
9. Colmena, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en la que la tapa (4) comprende una cara externa (11) realizada en material metálico y una plancha interior

P202330492
13-06-2023

(12) realizada en fibra natural aislante unida a la cara externa (11) mediante elementos de unión metálicos (13).

5 10. Colmena, según la reivindicación 9, en la que la tapa (4) comprende posteriormente una chapa de madera (14), quedando la plancha interior (12) protegida entre la cara externa (11) y la chapa de madera (14).

10 11. Colmena, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, que comprende un sistema electrónico (15) configurado para la medición, almacenamiento y transmisión de parámetros medioambientales.

12. Colmena, según la reivindicación 11, en la que el sistema electrónico (15) comprende una pluralidad de sensores y un sistema de comunicación.

15 13. Colmena, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, en la que la fibra natural aislante está seleccionada entre aglomerado de corcho blanco, aglomerado de corcho negro, fibras de madera, celulosa, y combinación de éstos.

20 14. Colmena, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13, en la que la piquera (6) está dispuesta en el suelo (4).

15. Colmena, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 14, que comprende una entretapa (7) dispuesta entre la tapa (4) y la cámara de cría (1).

25

P202330492
13-06-2023

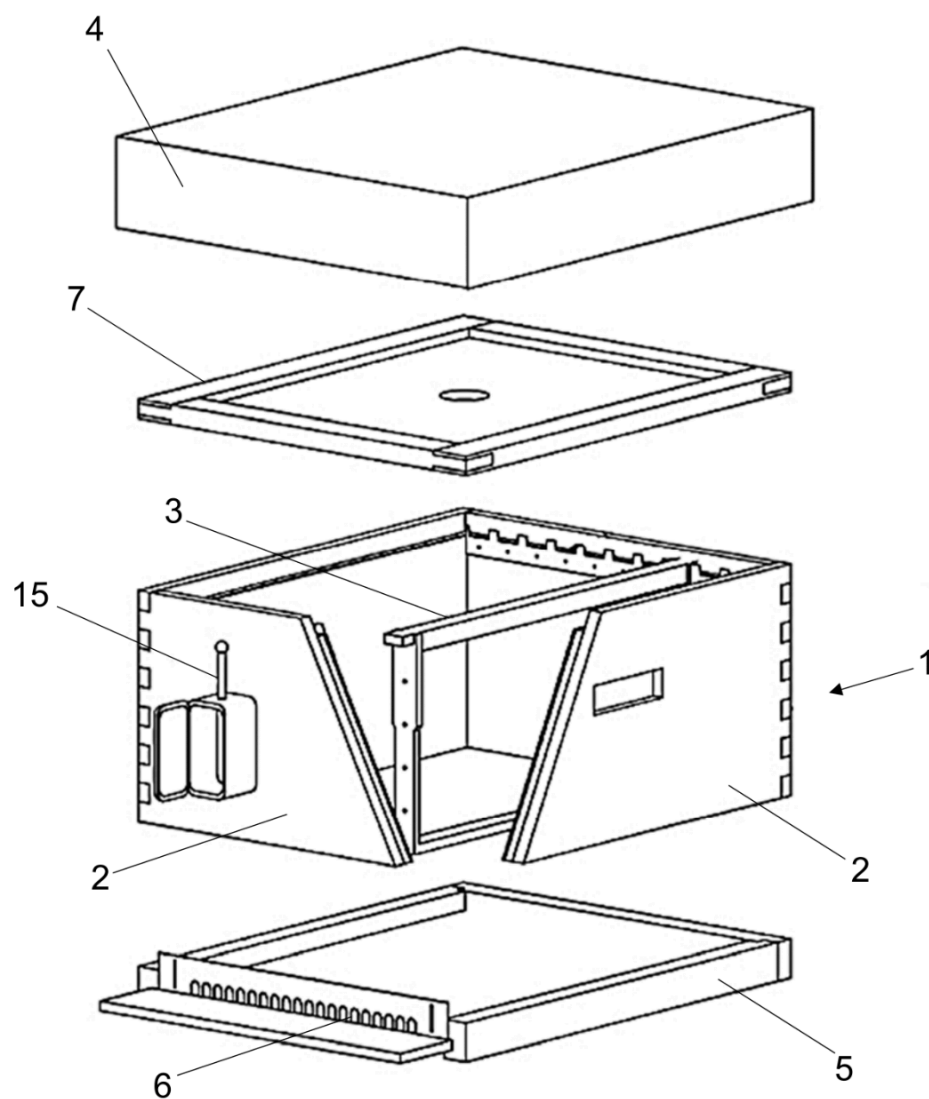


Fig. 1

P202330492
13-06-2023

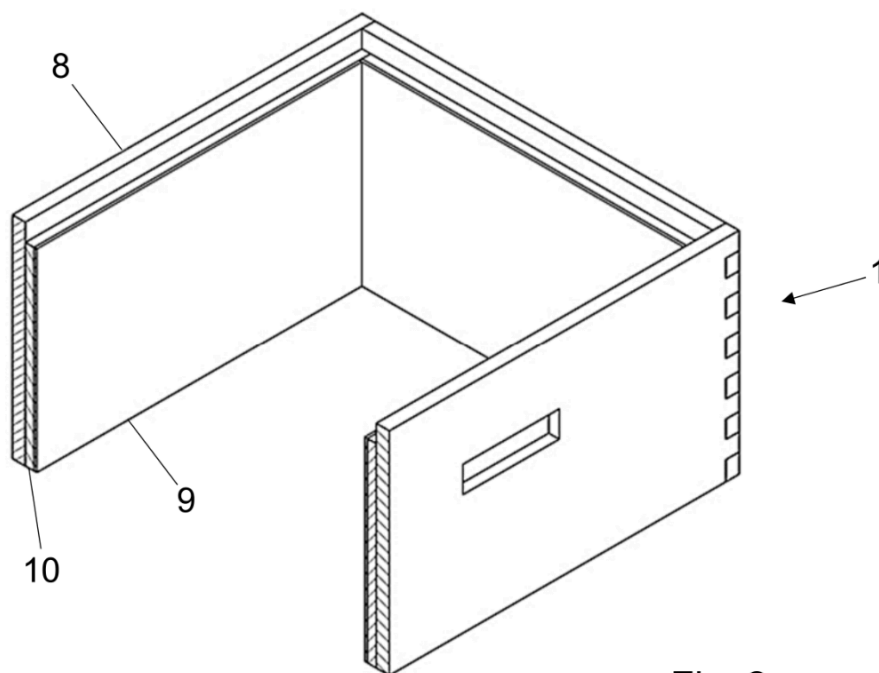


Fig. 2

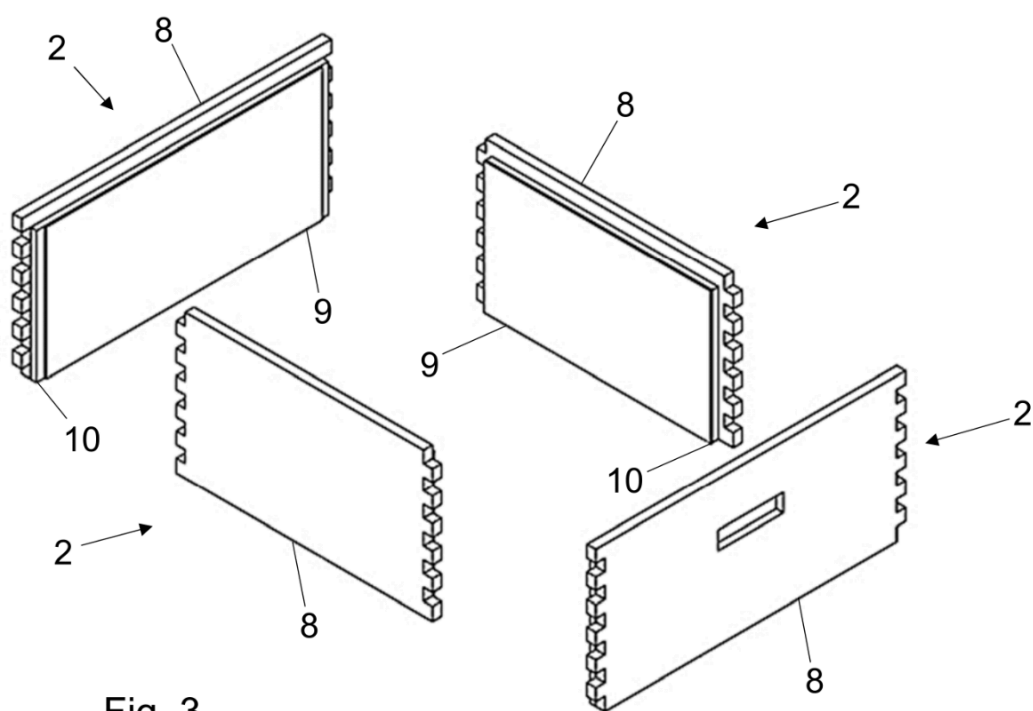


Fig. 3

P202330492
13-06-2023

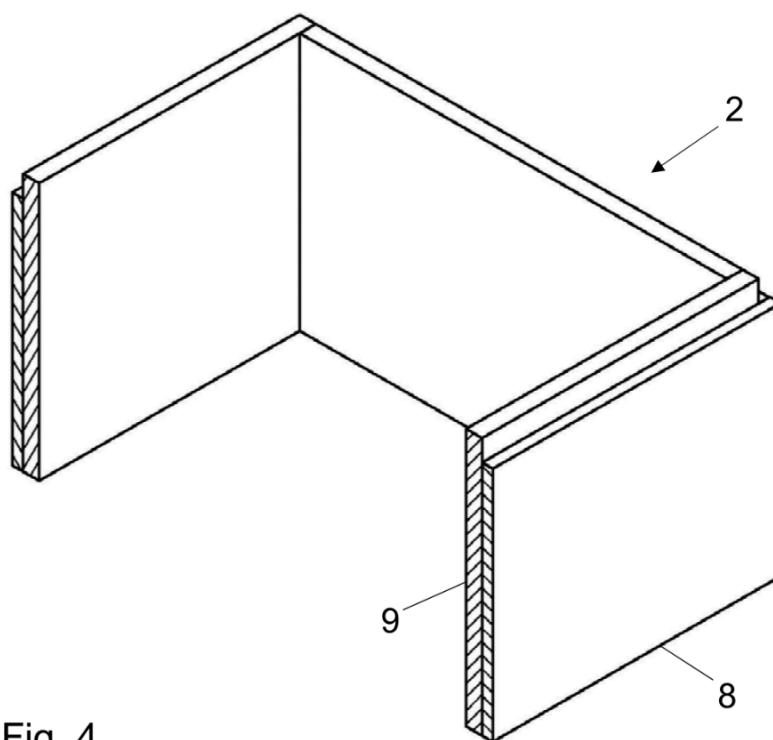


Fig. 4

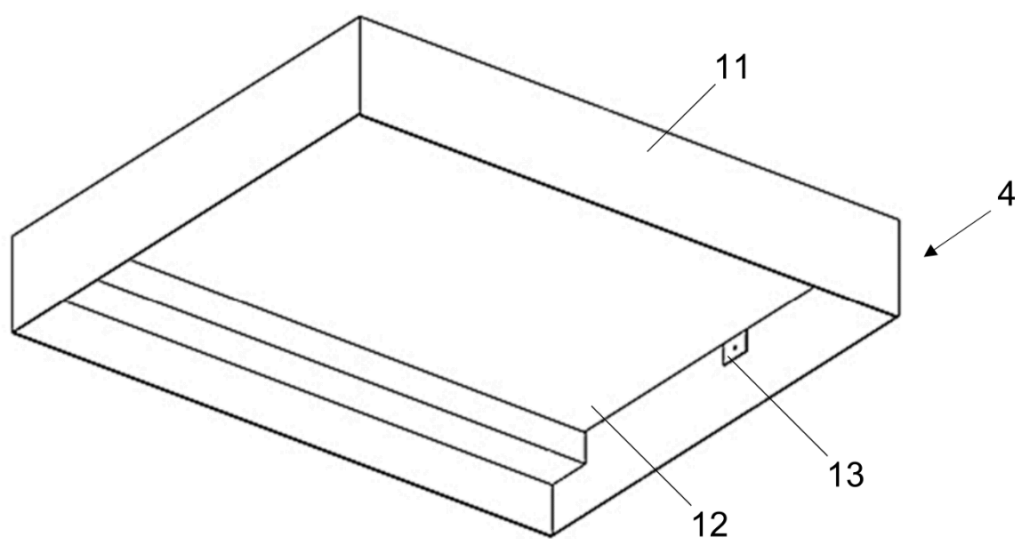


Fig. 5

P202330492
13-06-2023

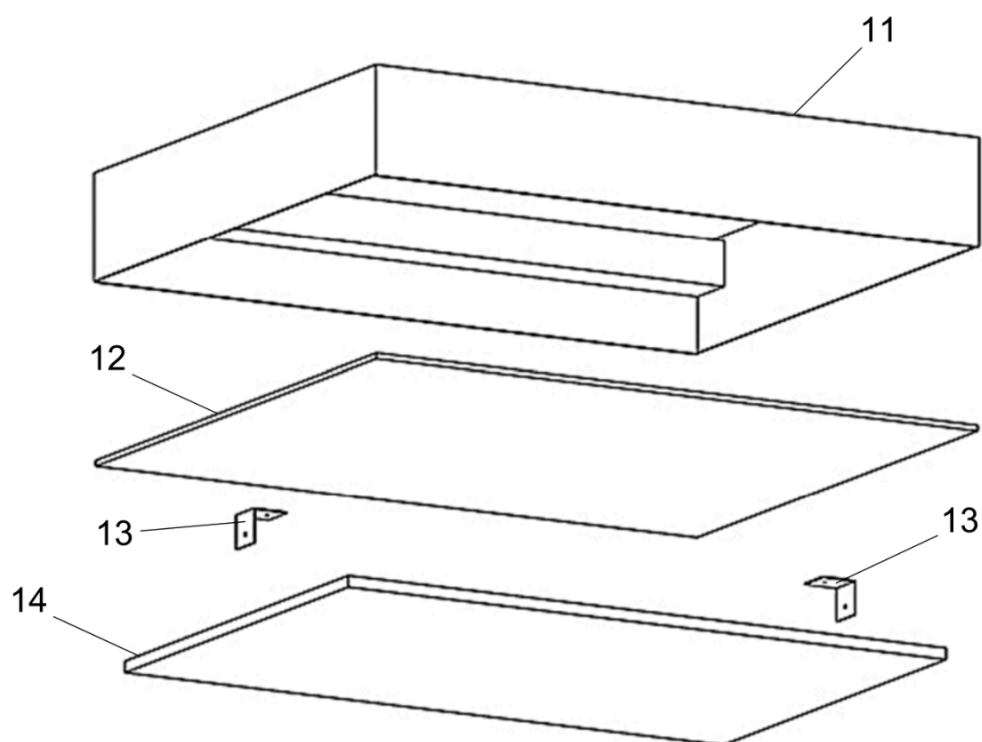


Fig. 6

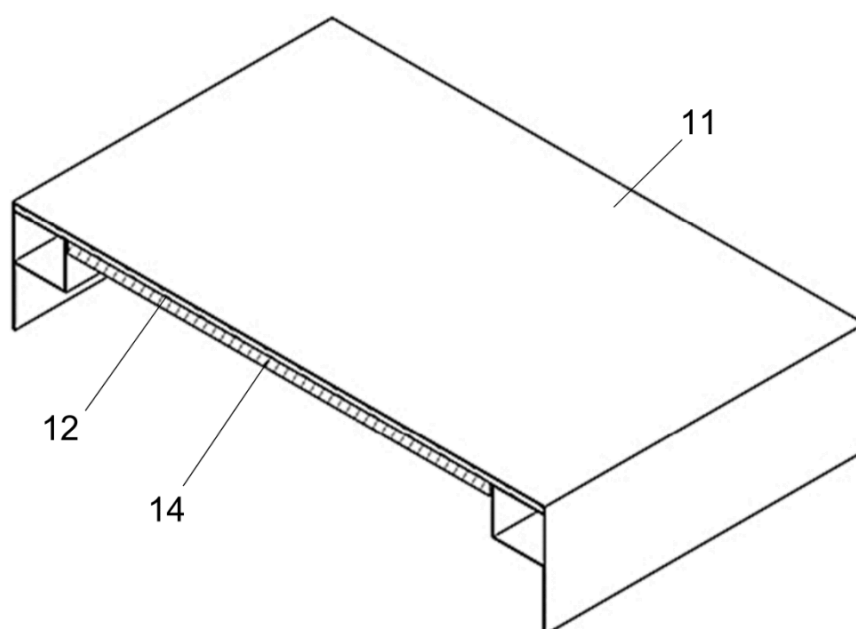


Fig. 7



MINISTERIO
DE INDUSTRIA, COMERCIO
Y TURISMO



Oficina Española
de Patentes y Marcas

Isabel Carvajal y Urquijo
C/ Suero de Quiñones,34-36
28002 Madrid

Madrid, a 13 de junio de 2023

Admisión a trámite de la solicitud de Patente Nacional 202330492

La Oficina Española de Patentes y Marcas (OEPM) le comunica que su solicitud de patente 202330492 ha sido admitida a trámite con asignación de fecha de presentación correspondiente al día 13/06/2023 y que no se encuentra afectada por lo previsto en el Título XI relativo a patentes de interés para la defensa nacional.

De acuerdo con el artículo 67.2 de la Ley 24/2015 de Patentes, a partir de la fecha antes mencionada usted podría gozar de una protección provisional frente a cualquier tercero que hubiera llevado a cabo una utilización de la invención siempre y cuando notifique a dicho tercero la presentación y el contenido de esta solicitud. Esta protección implicaría el derecho a exigir una indemnización razonable si dicho tercero prosiguiera utilizando su invención entre la fecha de la notificación y la fecha de publicación de la mención en el Boletín Oficial de la Propiedad Industrial (BOPI) de que la patente ha sido concedida. El citado derecho existiría a partir de la fecha de notificación fehaciente y se podría ejercer una vez se publicará la mención de la concesión en el BOPI. El BOPI puede consultarse en la web de la OEPM (www.oepm.es).

La OEPM le remitirá cumplida información de las diferentes etapas del procedimiento de concesión con indicación de los actos a llevar a cabo, los plazos para cumplimentarlos y las fechas a partir de las cuales dichos plazos comienzan a contar.

Finalmente, la OEPM le informa que, si está interesado en solicitar su patente en otros países, existe el programa PPH (Patent Prosecution Highway), que le permitirá pedir la tramitación acelerada en otras Oficinas de Patentes que participen en dicho programa. Para más información puede consultar el apartado Propiedad Industrial/ Internacionalización/ Patentes y Modelos de Utilidad en la web de la OEPM, o acceder a través del enlace:
<http://www.oepm.es/cs/OEPMSite/contenidos/PPH/PPH.htm>.

Para cualquier consulta en relación con su expediente, puede ponerse en contacto con la OEPM llamando al teléfono de información 902 157 530 (en horario de 9:00 a 14:30, de lunes a viernes).

Nota informativa: Si el solicitante no reside en estado miembro de la Unión Europea y no ha designado un Agente de la Propiedad Industrial (art. 175 Ley de Patentes), o reside en estado miembro de la Unión Europea, pero, a efectos de notificaciones, no ha designado domicilio en España ni dirección de correo electrónico (art. 2.1.c Reglamento Ley de Patentes), deberá designar dicho domicilio o dirección de correo electrónico.

Atentamente,

Ana María Navarro Farell
Jefe/a de Área de Examen de Patentes
OEPM, Paseo de la Castellana, 75 – 28071 Madrid (España) – Tel: (+34) 902 157 530 – Fax: (+34) 91 349 5597
1001P (04.17)

1 de 1



MINISTERIO
DE INDUSTRIA, COMERCIO
Y TURISMO



Oficina Española
de Patentes y Marcas

Isabel Carvajal y Urquijo
C/ Suero de Quiñones,34-36
28002 Madrid

Madrid, a 31 de octubre de 2023

Traslado del Informe sobre el Estado de la Técnica de la solicitud de Patente Nacional 202330492

La Oficina Española de Patentes y Marcas (OEPM), en cumplimiento con lo dispuesto en el artículo 36 de la Ley 24/2015 de Patentes y el artículo 26 de su Reglamento de Ejecución, le traslada el Informe sobre el Estado de la Técnica (IET) que incluye la Opinión Escrita correspondiente a la solicitud 202330492.

Los documentos citados en el Informe sobre el Estado de la Técnica y, en particular los documentos relativos a Literatura no Patente, pueden estar sujetos a Derechos de autor. La distribución de estos documentos ha de entenderse como parte de un procedimiento administrativo y como tal su transmisión debe entenderse a la luz del art. 31.bis 1 del Real Decreto Legislativo 1/1996, de 12 de abril, por el que se aprueba el Texto Refundido de la Ley de Propiedad Intelectual, regularizando, aclarando y armonizando las disposiciones legales vigentes sobre la materia y que establece que "No será necesaria autorización del autor cuando una obra se reproduzca, distribuya o comunique públicamente con fines de seguridad pública o para el correcto desarrollo de procedimientos administrativos, judiciales o parlamentarios".

Antes de copiar o distribuir estos documentos, debe comprobarse si se requiere permiso del autor o editor u otro posible poseedor del derecho. Cuando no haya derechos de terceros afectados, los documentos podrán ser reproducidos junto con una indicación de la fuente.

Según lo previsto en el artículo 33 del Reglamento de ejecución de la Ley 24/2015 de Patentes, tras la presente comunicación y hasta la finalización del plazo de tres meses desde la publicación de la mención de puesta a disposición del público del Informe sobre el Estado de la Técnica, pueden presentarse observaciones a dicho Informe, y a la Opinión Escrita, que ahora se le traslada, y a las observaciones de terceros, si éstas se presentan, así como modificaciones de la solicitud de patente en los términos previstos en el artículo 48 de la Ley 24/2015 de Patentes, utilizando para ello el formulario **5215P**. Dichas observaciones y modificaciones serán examinadas cuando comience el Examen Sustantivo.

Oportunamente se le comunicará la publicación en el Boletín Oficial de la Propiedad Industrial (BOPI) de dicha mención de puesta a disposición del público del Informe sobre el Estado de la Técnica.

IMPORTANTE: Debe tenerse en cuenta que el Informe y su Opinión Escrita que se le trasladan con esta comunicación, constituyen, de acuerdo al artículo 34.2 del Reglamento de Ejecución de la Ley 24/2015, una primera comunicación sobre si la invención reúne los requisitos formales, OEPM, Paseo de la Castellana, 75 – 28071 Madrid (España) – Tel: (+34) 902 157 530 – Fax: (+34) 91 349 5597 1109P (08.18)

1 de 2



MINISTERIO
DE INDUSTRIA, COMERCIO
Y TURISMO



Oficina Española
de Patentes y Marcas

técnicos y de patentabilidad previstos en la Ley por lo que, en caso de que el Informe y la Opinión Escrita contengan objeciones al cumplimiento de dichos requisitos y no se realice ningún acto para subsanarlas, de acuerdo al artículo 34.4 del Reglamento, la Oficina denegará la patente en la siguiente fase de Examen Sustantivo.

Atentamente,

Ana María Redondo Mínguez
Jefe/a de Servicio de Actuaciones Administrativas

OEPM, Paseo de la Castellana, 75 – 28071 Madrid (España) – Tel: (+34) 902 157 530 – Fax: (+34) 91 349 5597
1109P (08.18)

2 de 2



OFICINA ESPAÑOLA
DE PATENTES Y MARCAS
ESPAÑA

- 21 N.º solicitud: 202330492
22 Fecha de presentación de la solicitud: 13.06.2023
32 Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

51 Int. Cl.: **A01K47/00** (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	56 Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
X	FR 2539580 A1 (GIRARDEAU JACQUES) 27/07/1984, página 5, líneas 24 - 26; figuras 1 - 7.	1-15
X	CN 112544503 A (UNIV CHONGQING POSTS & TELECOM) 26/03/2021, figura 1 y resumen WPI recuperado de EPOQUE AN- CN-202011355950-A	1-12
A	ES 1004809U U 16/10/1988, figura 1,	1-13
A	ES 1051528U U (ENCABO PARDO JESUS) 16/08/2002, figuras 1 - 3.	14
Categoría de los documentos citados X: de particular relevancia Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría A: refleja el estado de la técnica O: referido a divulgación no escrita P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud		
El presente informe ha sido realizado ☒ para todas las reivindicaciones ☐ para las reivindicaciones nº:		
Fecha de realización del informe 27.10.2023	Examinador T. Verdeja Matías	Página 1/2

INFORME DEL ESTADO DE LA TÉCNICA

Nº de solicitud: 202330492

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

A01K

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC

Informe del Estado de la Técnica

Página 2/2

OPINIÓN ESCRITA

Nº de solicitud: 202330492

Fecha de Realización de la Opinión Escrita:

Declaración:**Novedad (Art. 6.1 LP 24/2015)**Reivindicaciones 1-15
Reivindicaciones**SI**
NO**Actividad Inventiva (Art. 8.1 LP 24/2015)**Reivindicaciones
Reivindicaciones 1-15**SI**
NO**Aplicación Industrial (Art. 9 LP 24/2015)**Reivindicaciones 1-15
Reivindicaciones**SI**
NO**Base de la Opinión.-**

La presente opinión se ha realizado sobre la base de la solicitud de patente tal y como se publica.

OPINIÓN ESCRITA

Nº de solicitud: 202330492

1. Documentos considerados.-

A continuación se relacionan los documentos pertenecientes al estado de la técnica tomados en consideración para la realización de esta opinión.

Documento	Número Publicación o Identificación	Fecha Publicación
D01	FR 2539580 A1 (GIRARDEAU JACQUES)	27.07.1984
D02	CN 112544503 A (UNIV CHONGQING POSTS & TELECOM)	26.03.2021
D03	ES 1004809U U	16.10.1988
D04	ES 1051528U U (ENCABO PARDO JESUS)	16.08.2002

2. Declaración motivada según el artículo 26.5 del Reglamento de ejecución de la Ley 24/2015, de 24 de Julio, de Patentes sobre la novedad y la actividad inventiva; citas y explicaciones en apoyo de esta declaración.

El objeto de la solicitud se refiere a una colmena; consta la solicitud de quince reivindicaciones siendo la primera independiente y el resto dependientes de ella.

El problema técnico que se desea resolver consiste en cómo aislar la colmena de las temperaturas exteriores.

Reivindicaciones 1 a 10

D01 es el documento más cercano del estado de la técnica al objeto de la solicitud. Las referencias entre paréntesis se refieren a dicho documento. D01 describe una cámara con paredes laterales, tapa y suelo y una piquera. Las paredes laterales de la cámara están formadas por paneles tipo sándwich los cuales presentan una capa exterior (4) y una capa interior (6); las capas exteriores están realizadas en fibra natural aislante o en plástico (página 5, líneas 24 a 26) y la capa intermedia (6) en fibra natural aislante o en plástico. La tapa (fig. 2) presenta una capa externa metálica y una plancha interior (2) la cual tiene una zona externa que puede ser de madera y en medio una plancha de material aislante (página 4, línea 5-9).

Así pues, el documento D01 se diferencia de las reivindicaciones 1 a 10 en que no presenta las estructuras de soporte de paneles; sin embargo, estas estructuras son comunes en las colmenas. El resto de características técnicas quedan recogidas en el documento D01 que resuelve el problema técnico de la misma manera, que es poniendo capas de material aislante en las paredes de la colmena; empleando para ello bien materiales naturales o bien materiales artificiales.

Por tanto, se concluye que las reivindicaciones 1 a 10, son nuevas pero carentes de actividad inventiva (Art. 6 y Art.8 Ley de Patentes 24/2015).

Reivindicaciones 11 y 12

Con respecto a las reivindicaciones 11 y 12, en ellas se indica que la colmena tiene un sistema electrónico para medición, almacenamiento y transmisión de parámetros medioambientales con una serie de sensores y un sistema de comunicación; estas características que permiten controlar los parámetros de la colmena a distancia ya existen en el mercado (véase documento D02), por tanto, no presentan actividad inventiva.

Reivindicaciones 13, 14 y 15

Estas reivindicaciones, que se refieren a l tipo de material aislante, a la posición de la piquera y a la colocación de una entretapa tampoco ofrecen actividad inventiva por ser conocidas para un experto en la materia (véase documentos D03 y D04).

Se concluye que las reivindicaciones 1 a 15 son nuevas, pero carecen de actividad inventiva (Art. 6 y Art.8 Ley de Patentes 24/2015).



MINISTERIO
DE INDUSTRIA
Y TURISMO



Oficina Española
de Patentes y Marcas

Isabel Carvajal y Urquijo
C/ Suero de Quiñones,34-36
28002 Madrid

Madrid, a 14 de febrero de 2024

Acuerdo de cambio de modalidad de la solicitud de Patente Nacional 202330492

La Oficina Española de Patentes y Marcas (OEPM), en aplicación del artículo 46.3 del Reglamento de Ejecución de la Ley 24/2015 de Patentes le notifica el acuerdo del cambio de modalidad.

El número asignado en la nueva modalidad es el U202430199. Esta notificación se publicará en el Boletín Oficial de la Propiedad Industrial (BOPI) en fecha 20/02/2024. El BOPI puede consultarse en la web de la OEPM (www.oepm.es).

Atentamente,

Valentín Anguiano Mañero
Jefe/a de Servicio de Examen de Patentes
(P.D. del Director/a del Departamento de Patentes e I.T., Resolución 18 de Julio 2017)

OEPM, Paseo de la Castellana, 75 – 28046 Madrid (España) – Tel. (+34) 910 780 780 – informacion@oepm.es
1151X (10.23)

1 de 1



MINISTERIO
DE INDUSTRIA
Y TURISMO



Isabel Carvajal y Urquijo
C/ Suero de Quiñones,34-36
28002 Madrid

Madrid, a 22 de marzo de 2024

Continuación del procedimiento y publicación de la solicitud de Modelo de Utilidad 202430199

La Oficina Española de Patentes y Marcas (OEPM) le notifica, en cumplimiento del artículo 143 de la Ley 24/2015, de Patentes, que su solicitud de modelo de utilidad 202430199 ha superado el examen previsto en el artículo 142.3 de dicha Ley.

Igualmente, se procederá a la publicación del folleto correspondiente a su solicitud de modelo de utilidad y, a la publicación de los elementos de la solicitud de modelo de utilidad establecidos según el artículo 60 del Reglamento de Ejecución de la Ley 24/2015 de Patentes en el Boletín Oficial de la Propiedad Industrial (BOPI) en fecha 02/04/2024. El BOPI puede consultarse en la web de la OEPM (www.oepm.es).

Esta publicación le confiere, de acuerdo con el artículo 67 de la Ley 24/2015, de Patentes, una protección provisional consistente en el derecho a exigir una indemnización, razonable y adecuada a las circunstancias, de cualquier tercero que entre la fecha de publicación de la solicitud (02/04/2024) y la fecha de publicación en el BOPI de la mención de que el modelo de utilidad ha sido concedido hubiera llevado a cabo una utilización de la invención. El citado derecho existe a partir de la fecha de publicación de la solicitud y se podría ejercer una vez se publique la mención de la concesión en el BOPI.

Atentamente,

Esperanza Carasatorre Rueda
Examinador/a

OEPM, Paseo de la Castellana, 75 – 28046 Madrid (España) – Tel. (+34) 910 780 780 – informacion@oepm.es
1110U (04.17)

1 de 1



MINISTERIO
DE INDUSTRIA
Y TURISMO



Isabel Carvajal y Urquijo
C/ Suero de Quiñones,34-36
28002 Madrid

Madrid, a 17 de junio de 2024

Concesión de la solicitud de Modelo de Utilidad 202430199

La Oficina Española de Patentes y Marcas (OEPM) le notifica que su solicitud de modelo de utilidad 202430199 ha sido concedida con fecha 17/06/2024.

Está previsto que dicha concesión se publique en el Boletín Oficial de la Propiedad Industrial (BOPI) de fecha 21/06/2024, que podrá consultarse en la web de la OEPM (www.oepm.es).

El **Título de Concesión** estará disponible para su visualización y descarga a través del servicio de **Consulta de Expedientes OEPM (CEO)**, accesible desde la página web de la OEPM, una vez efectuada la publicación de concesión en el Boletín Oficial de la Propiedad Industrial (BOPI).

Las anualidades que venzan con posterioridad a la fecha de publicación de la concesión se deberán abonar dentro de los **tres meses posteriores a la fecha de devengo**.

Sin embargo, **si hubieran transcurrido más de dos años desde el último día del mes correspondiente a la fecha de presentación** (es decir, si se hubiera sobrepasado la fecha de devengo de la tercera anualidad), se deberá abonar dicha **tercera anualidad y, en su caso, las sucesivas anualidades que hubieran vencido antes de la fecha de publicación de la concesión**. El plazo para abonar dichas anualidades es de **tres meses contados a partir de dicha fecha de publicación**.

Por favor, tenga en cuenta que las anualidades se pagan por años adelantados y que la fecha de devengo de cada anualidad es el último día del mes aniversario de la fecha de presentación.

Se adjunta nota informativa relativa a las tasas que debe abonar, los plazos de pago, así como sus correspondientes recargos.

Así mismo, puede encontrar una calculadora de plazos para el pago de anualidades, instrucciones y más información en la página web de la OEPM.

Si tuviera alguna duda al respecto, puede ponerse en contacto con esta oficina llamando al teléfono de información **910 780 780 o 902 157 530**.

Contra el presente acto, que no pone fin a la vía administrativa, cabe interponer recurso de alzada, ante la Dirección General de la OEPM, en el plazo de **un mes** a contar desde la fecha de publicación de la mención de la resolución en el BOPI.

OEPM, Paseo de la Castellana, 75 – 28046 Madrid (España) – Tel. (+34) 910 780 780 – informacion@oepm.es
1201U (01.24)

1 de 2



MINISTERIO
DE INDUSTRIA
Y TURISMO



Atentamente,

Guadalupe Aparicio Peña
Jefe/a de Servicio de Modelos de Utilidad
(P.D. del Director/a del Departamento de Patentes e I.T., Resolución 18 de Julio 2017)

OEPM, Paseo de la Castellana, 75 – 28046 Madrid (España) – Tel. (+34) 910 780 780 – informacion@oepm.es
1201U (01.24)

2 de 2



MINISTERIO
DE INDUSTRIA
Y TURISMO



NOTA INFORMATIVA

Las anualidades necesarias para mantener en vigor la Patente o el Modelo de utilidad se pagarán por años adelantados, desde el inicio de la tercera anualidad (artículo 184 de la Ley 24/2015 de Patentes). En cuanto a la primera y segunda anualidad, y de acuerdo a lo establecido en el artículo 184.4 de la citada ley de Patentes, se consideran incluidas dentro del importe de la tasa de solicitud.

La fecha de devengo de cada anualidad es el último día del mes aniversario de la fecha de presentación. Cada anualidad se debe pagar según la tabla de tasas que estuviera en vigor en la fecha de devengo de dicha anualidad.

Aquellas anualidades cuya fecha de devengo sea anterior a la publicación del anuncio de concesión en BOPI, se pagarán en el plazo de tres meses contados a partir de dicha publicación, pudiéndose abonar con un recargo del 25% dentro de los tres meses siguientes y del 50% en los tres posteriores, hasta un máximo de seis meses de demora.

Las anualidades cuya fecha de devengo sea posterior, se pagarán en el plazo de tres meses contados a partir de la fecha de devengo, pudiéndose abonar con un recargo del 25% dentro de los tres meses siguientes y del 50% en los tres posteriores, hasta un máximo de seis meses de demora. Posteriormente, y sólo hasta la fecha de devengo de la siguiente anualidad, se podrá regularizar el pago abonando la tasa de regularización prevista en el artículo 184.3 de dicha Ley.

El pago podrá realizarse, bien telemáticamente a través de la sede electrónica de la OEPM, <https://sede.oepm.gob.es> o bien directamente en cualquier sucursal de la entidad bancaria que actualmente colabora con la OEPM, adjuntando para ello el documento de pago presencial que deberá descargarse de la misma página web antes mencionada.

Así mismo, puede encontrar una calculadora de plazos para el pago de anualidades, instrucciones y más información en la página web de la OEPM.

La falta de pago exacto dentro de los plazos fijados, implicará la caducidad de la patente o del modelo de utilidad y, por tanto, el paso del objeto patentado al dominio público (artículo 109 de la Ley 24/2015, de Patentes).

Por último, si tuviera alguna duda al respecto, puede ponerse en contacto con esta oficina en el **910 780 780 o 902 157 530**.

OEPM, Paseo de la Castellana, 75 – 28046 Madrid (España) – Tel. (+34) 910 780 780 – informacion@oepm.es
1253X1(01.24)

1 de 1



Nº SOLICITUD: **U202430199**

Nº PUBLICACIÓN: **ES1306584**

TITULAR/ES:

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

FECHA EXPEDICIÓN: 17/06/2024

TÍTULO DE MODELO DE UTILIDAD

Cumplidos los requisitos previstos en la vigente Ley 24/2015, de 24 de julio, de Patentes, se expide el presente TÍTULO, acreditativo de la concesión del Modelo de Utilidad.

Se otorga al titular un derecho de exclusiva en todo el territorio nacional, bajo las condiciones y con las limitaciones en la Ley de Patentes. La duración del modelo de utilidad será de **diez años** contados a partir de la fecha de presentación de la solicitud (13/06/2023).

El modelo de utilidad se concede sin perjuicio de tercero y sin garantía del Estado en cuanto a la validez y a la utilidad del objeto sobre el que recae.

Para mantener en vigor el modelo de utilidad concedido, deberán abonarse las tasas anuales establecidas, a partir de la tercera anualidad. Asimismo, deberá explotarse el objeto de la invención, bien por su titular o por medio de persona autorizada de acuerdo con el sistema de licencias previsto legalmente, dentro del plazo de cuatro años a partir de la fecha de presentación de la solicitud del modelo de utilidad, o de tres años desde la publicación de la concesión en el Boletín Oficial de la Propiedad Industrial, aplicándose el plazo que expire más tarde.



Ana María Redondo Mínguez

Jefe/a de Servicio de Actuaciones Administrativas

(P.D. del Director/a del Departamento de Patentes e I.T., Resolución 18 de Julio 2017)