



ARTÍCULO ORIGINAL

Termorregulación y recursos almacenados en el interior de la colmena

Thermoregulation and stored resources inside the colonies

Jorge Luis Isaac Velis, Anais Rodríguez Luis*, Adolfo Pérez Piñeiro

1 Centro de Investigaciones Apícolas (CIAPI), Carretera de El Cano a El Chico, Km 0, Arroyo Arenas, La Lisa, La Habana, Cuba

*heylinhaylin@gmail.com



Palabras clave

Termorregulación
Apis mellifera
Recursos almacenados

Keywords

Thermoregulation
Apis mellifera
Stored resource

Editor: Daylen Guancho,
CIAPI, Cuba

Recibido Octubre, 30, 2023

Aceptado Noviembre, 27, 2023

Copyright:© This work by Isaac et al. is licensed under [CC BY-NC-ND 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

Como citar este artículo:

Isaac, J. L., Rodríguez, A., Pérez, A. (2022). "Termorregulación y recursos almacenados en el interior de la colmena". Apiciencia 24 (2).

La termorregulación del nido de las abejas (Hymenoptera: Apoidea), es esencial para el desarrollo de las crías, y en su desempeño como abejas adultas durante las actividades de exploración y búsqueda de fuentes de néctar y polen. Ello contribuye a la adaptación local de las abejas contrarrestando las crecientes presiones selectivas ambientales y antrópicas. Teniendo en cuenta que la temperatura ambiental ha tenido una tendencia al aumento debido a los efectos del cambio climático se cuantificó la temperatura mínima, media y máxima en el interior de dos colmenas compuestas por dos alzas durante el período de junio 2022 a enero 2023. Una colmena se conformó con 10 cuadros en ambos cuerpos, mientras que la otra con 9 cuadros. Además, se cuantificó la cantidad de celdas con polen, miel y cría. Los valores de temperatura por meses, colmenas y alzas se compararon con un valor de significación de $p < 0,001$. De manera similar se realizó para los recursos almacenados en la colmena $p < 0,05$. Se registró menor variación de la temperatura mínima en la colmena con 10 cuadros. La comparación entre las alzas de ambas colmenas arrojó diferencias significativas fundamentalmente en los meses de julio, septiembre, noviembre y diciembre. A pesar de esto, la temperatura interna se mantuvo en el rango propicio para el desarrollo de la cría. El número de celdas con cría y polen fue mayor en la colmena con 10 cuadros, mientras que la cantidad de celdas con miel fue mayor en la colmena con 9 cuadros. De manera general se obtuvo mayor cantidad de celdas con cría en el alza inferior de ambas colmenas, mientras que el polen y la miel se registraron fundamentalmente en el alza superior.

Thermoregulation of the nest of bees (Hymenoptera: Apoidea) is essential for the development of the offspring, and in their performance as adult bees during exploration activities and search for sources of nectar and pollen. This contributes to the local adaptation of bees by counteracting increasing environmental and anthropogenic selective pressures. Taking into account that the environmental temperature has had a tendency to increase due to the effects of climate change, the minimum, average and maximum temperature inside two hives composed of two rises was quantified during the period from June 2022 to January 2023. One hive settled for 10 frames in both bodies, while the other with 9 frames. Additionally, the number of cells with pollen, honey and brood was quantified. The temperature values by months, hives and supers were compared with a significance value of $p < 0.001$. In a similar way, $p < 0.05$ was carried out for the resources stored in the hive. Less variation in the minimum temperature was recorded in the hive with 10 frames. The comparison between the increases of both hives showed significant differences mainly in the months of July, September, November and December. Despite this, the internal temperature remained in the range conducive to the development of the offspring. The number of cells with brood and pollen was greater in the hive with 10 frames, while the number of cells with honey was greater in the hive with 9 frames. In general, a greater number of cells with brood were obtained in the lower rise of both hives, while pollen and honey were mainly recorded in the upper rise.

Introducción

Las abejas (Hymenoptera: Apoidea), de la especie *Apis mellifera*, son insectos eusociales que dentro de la colmena las hembras (obreras y reinas) desempeñan diferentes tareas en función de la integridad de la misma (Becher *et al.* 2010). La termorregulación del nido, y la búsqueda de néctar y polen son tareas llevadas a cabo por las obreras (Hess 1926, Heinrich 1993).

La adaptación local de las abejas contribuye a contrarrestar las crecientes presiones selectivas ambientales y las producidas por la actividad antrópica. La malnutrición y el cambio climático forman parte de este grupo de estresores (Potts, Roberts *et al.* 2010, Goulson, Nicholls *et al.* 2015). Ambos aspectos representan desafíos y riesgos importantes para los apicultores, ya que afectan directa (al influir en el comportamiento y la fisiología) e indirectamente (al influir en la interacción huésped-hospedero y la disponibilidad de recursos florales) la salud y la vitalidad de las colmenas (Le Conte and Navajas 2008, Reddy, Verghese *et al.* 2012, Hoover and Hoover 2014).

La región de América Latina y el Caribe se caracteriza por temperaturas cálidas durante gran parte del año. Sin embargo, la temperatura en ambas zonas ha tenido una tendencia al aumento debido a los efectos del cambio climático. En condiciones tropicales la temperatura ambiental es similar a la temperatura dentro de la colmena (Velthuis *et al.* 1997). Diversos estudios plantean que la incubación de las crías en temperaturas fuera del rango o cercanas a los límites provoca deficiencias neurales que afectan la memoria, el aprendizaje a corto plazo, las actividades de exploración y la búsqueda de fuentes de néctar y polen (Tautz *et al.* 2003; Jones *et al.* 2005; Betcher *et al.* 2009).

Cuba, es el país más grande del Caribe con una superficie de 109 884 km². Presenta durante la mayor parte del año, un clima de cálido a caluroso (temperatura promedio de 27.9 °C) con muy pocos meses de frío (temperatura promedio de 23,0 °C) (INSMET). Estas condiciones climáticas en conjunto con la alta disponibilidad de recursos florales existentes a lo largo del territorio, posibilitan que la apicultura sea una actividad esencial de la agricultura en el país.

Materiales y Métodos

Recolección de las muestras

Se seleccionaron dos colmenas, número 10 y número 9, provenientes del apiario experimental del Centro de Investigaciones Apícolas (CIAPI), en la provincia La Habana como objeto de estudio. Las colmenas, estaban compuestas de

dos alzas y se les introdujo reinas hermanas de la misma edad. La colmena 10 quedó constituida con 10 cuadros Langstroth en ambas alzas, mientras que la colmena 9 con 9 cuadros. Durante un período de siete meses desde junio 2022 hasta enero 2023 se determinó en ambas colmenas la temperatura interna (°C) y los recursos almacenados en la colmena medidos como la cantidad de celdas con polen y miel.

Determinación de la temperatura de la colmena

Para la determinación de la temperatura interna se colocó un termómetro Elitech modelo RC-5+, en envases de nylon, entre los cuadros centrales de ambas alzas. Los termómetros se programaron teniendo en cuenta el uso de horario del país mediante el Software ElitechLogWin. Los valores de temperatura se registraron en grados Celsius (°), cada 10 minutos durante todo el experimento, Los resultados fueron exportados en formato .xls conteniendo además de la temperatura, la fecha y la hora a la cual fueron registrados los valores.

Determinación de los recursos almacenados

Los recursos almacenados en la colmena se determinaron empleando el método subjetivo descrito por Delaplane *et al.* (2012) teniendo en cuenta que es menos invasivo y agresivo. La cantidad de celdas totales en un cuadro se determinó utilizando una plantilla dividida en cuadrantes de 3,5 cm x 3,5 cm. Cada cuadrante contiene 42 celdas, para un total de 2600 celdas por cada lado del panal aproximadamente. En base a la metodología descrita por Delaplane *et al.* (2012) se registró el porcentaje de celdas con polen y miel por cuadro por alza. Posteriormente, teniendo en cuenta; la cantidad de celdas totales que contiene un cuadro Langstroth los valores para cada recurso se expresaron en XX cantidad de celdas por cuadro. Finalmente se calculó la cantidad de celdas con cada recurso por alza por mes.

Análisis estadístico

Los valores de temperaturas mínima, media y máxima medidos en cada alza y colmena fueron promediados diaria y mensualmente. Los valores del conteo de celdas ocupadas por cría, miel y polen fueron totalizados para cada alza y colmena. La normalidad y la homocedasticidad de los datos fueron comprobadas usando la Prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov para la normalidad y la Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas.

Las diferencias entre las temperatura mínima, media y máxima medidas para cada alza y colmena en los diferentes meses fueron comprobadas usando la Prueba de Kruskal-Wallis para comparar k muestras independientes seguida de la prueba U de Mann-Whitney. Para estas pruebas se reportan los valores de U y p luego de una corrección secuencial de Bonferroni.

Para evaluar la interacción entre los dos arreglos de colmenas (con 9 y 10 cuadros por alza) en los diferentes meses sobre los recursos de la colmena (miel y polen) se utilizó una prueba de chi-cuadrado. La existencia de correlación entre las diferentes temperaturas y los recursos de la colmena se investigó usando las pruebas de correla-

ción de Pearson y Spearman dependiendo de si los datos cumplían las premisas de parametricidad. Todas las pruebas estadísticas se realizaron en el programa Past 4.04 (<https://www.nhm.uio.no/english/research/resources/past/>).

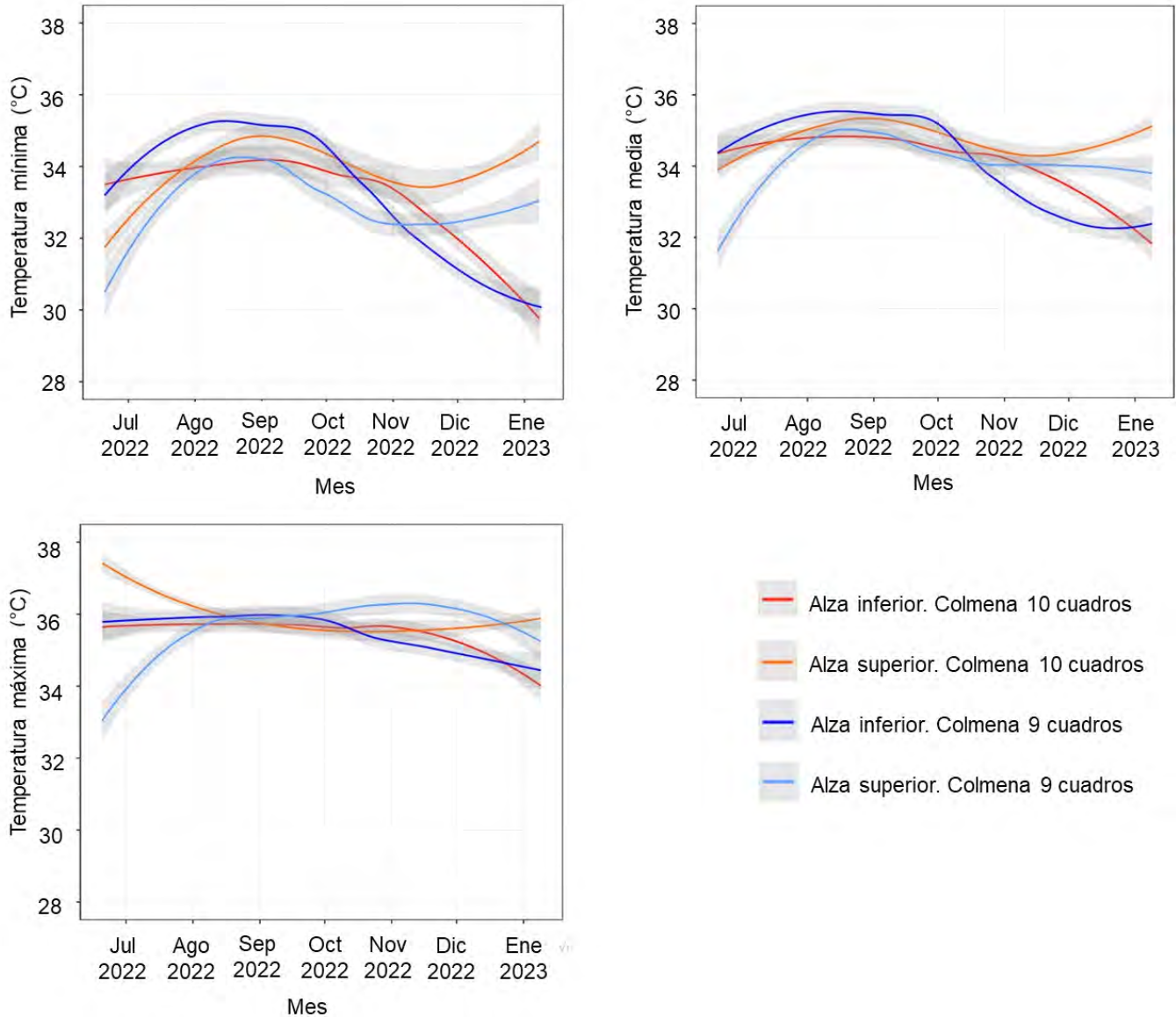


Figura 1. Variación mensual de la temperatura interna registrada en ambas alzas de dos colmenas de *Apis mellifera* manejadas. De izquierda a derecha fila superior: Temperatura interna mínima y media registradas en los meses desde junio-2022 hasta enero-2023. Fila inferior: temperatura interna máxima registradas en los meses desde junio-2022 hasta enero-2023

Resultados

Determinación de la temperatura en el interior de la colmena

La temperatura en el interior de cada colmena se registró cada 10 minutos, obteniéndose 144 valores de temperatura diarios. Para cada día se registraron los valores de temperatura mínima, media y máxima. dichos valores

oscilaron en el rango de 30-36 °C, con algunas desviaciones en algunos meses.

Temperatura mínima

Cabe destacar que, desde mediados de septiembre hasta mediados de noviembre, no se registraron valores de temperatura para el alza superior de la colmena con 10 cuadros. De modo que, en esos meses, no se pudieron

realizar comparaciones entre las alzas y entre las colmenas.

Durante los meses de junio a septiembre se registró un aumento de la temperatura mínima especialmente en las alzas superiores (líneas azul claro y naranja, respectivamente) (figura 1), mientras que en las alzas inferior este aumento de la temperatura mínima fue menos abrupta. A partir del mes de octubre este comportamiento se invirtió y en las alzas inferiores se comenzó a registrar un marcado descenso de las temperaturas. La temperatura mínima en enero de 2023 alcanzó valores extremos de 27.3 y 28.0 °C en el alza inferior de la colmena de 10 cuadros y 9 cuadros, respectivamente. Mientras que la temperatura mínima en ese mismo mes ascendió a 34.7 y 33.4 °C en el alza superior de la colmena de 10 y 9 cuadros, respectivamente. Si bien en la temperatura dentro de cada mes hubo una variación considerable se obtuvieron pocos valores extremos.

Considerando valores de significación de 0.05 y 0.01, las comparaciones múltiples obtenidas mostraron diferencias significativas en la mayoría de los casos (Anexo 1). Teniendo esto en cuenta las distribuciones de los valores de temperaturas por meses, colmenas y alzas, se compararon con un valor de significación de 0.001 para intentar discernir las variaciones más significativas. Como puede observarse en la figuras 2 la colmena con 10 cuadros fue capaz de mantener una temperatura mínima más estable entre el alza superior e inferior, observándose diferencias significativas con $p < 0.001$ entre ambas alzas solamente en los meses de diciembre ($U = 3.36 \times 10^{-10}$) y enero ($U = 1.8 \times 10^{-4}$). Por su parte en la colmena con 9 cuadros las diferencias entre las dos alzas dentro de un mismo mes son más marcadas y presentaron mayor variación entre meses diferentes. Las diferencias más significativas entre el alza superior e inferior de dicha colmena se registraron en los meses de julio ($U = 1.02 \times 10^{-5}$), agosto ($U = 2.22 \times 10^{-5}$), octubre ($U = 9.15 \times 10^{-6}$) y noviembre ($U = 8.77 \times 10^{-5}$).

Al comparar la temperatura mínima entre las alzas superiores de ambas colmenas se obtuvo diferencias significativas con $p < 0.001$ en el mes de diciembre ($U = 7.08 \times 10^{-5}$). Sin embargo, este mismo análisis realizado para las alzas inferiores reportó diferencias significativas en los meses de julio ($U = 6.84 \times 10^{-7}$), septiembre ($U = 2.30 \times 10^{-5}$) y noviembre ($U = 0.0011$).

Temperatura media

En el caso de la temperatura media durante los meses de junio a septiembre, las alzas inferiores registraron valores que si bien tienen una tendencia al aumento no lo hacen

de forma tan abrupta como las alzas superiores (figura 1). Sin embargo, a partir del mes de octubre se comienzan a registrar valores de temperatura decrecientes en las alzas inferiores de ambas colmenas. La temperatura media de octubre 2022-enero 2023 decreció de 34.2-30.7 °C y de 34.8-31.8 °C en el alza inferior de la colmena de 10 cuadros y 9 cuadros, respectivamente (figura 1). Mientras que en el alza superior de la colmena con 10 cuadros ascendió de 34.6-35.1 °C entre octubre 2022-enero 2023, la temperatura media en el alza superior de la colmena con 9 cuadros varió de 34.8-34 °C.

De manera general se observó diferencias significativas con $p < 0.001$ entre las alzas de la colmena con 10 cuadros solo en los meses de diciembre ($U = 3.23 \times 10^{-8}$) y enero ($U = 3.79 \times 10^{-5}$). Mientras que las diferencias en la temperatura media entre las alzas de la colmena con 9 cuadros resultaron significativas sobre todo en los meses de julio ($U = 9.72 \times 10^{-5}$), agosto ($U = 2.91 \times 10^{-4}$), octubre ($U = 8.135 \times 10^{-5}$) y noviembre ($U = 4.449 \times 10^{-8}$) (figura 2). Al comparar la temperatura media entre las alzas superiores de ambas colmenas se obtuvo mayor diferencia significativa en el mes de diciembre ($U = 7.08 \times 10^{-5}$). En el caso de las alzas inferiores se encontraron diferencias significativas en los meses de julio ($U = 2.39 \times 10^{-6}$), septiembre ($U = 4.69 \times 10^{-6}$).

Temperatura máxima

La temperatura máxima en el alza superior de la colmena con 10 cuadros registró un comportamiento decreciente con valores de 38.8 °C y 35.2 °C en junio y enero, respectivamente. En esta alza la temperatura máxima menor registrada fue de 26.5 °C en el mes de noviembre. De manera contraria la temperatura máxima en el alza superior de la colmena con 9 cuadros mostró un comportamiento creciente con valores que oscilaron de 29.6 °C a 36.5 °C de junio a enero. Aunque el pico de temperatura máxima para esta alza se registró en el mes de septiembre (37.4 °C). De manera general, en ambos casos después del mes de septiembre la temperatura máxima en las alzas superiores fue mayor que en las alzas inferiores de ambas colmenas (figura 1). En estas últimas, el comportamiento de la temperatura máxima registrada de junio 2022 a enero 2023 varió de 37.1-32.9 °C y de 38.5-32.7 °C en la colmena con 10 y 9 cuadros, respectivamente.

De manera general se observó diferencias significativas entre las alzas de la colmena con 10 cuadros solo en el mes de julio ($p = 1.15 \times 10^{-7}$). Mientras que las diferencias en la temperatura máxima entre las alzas de la colmena con 9 cuadros resultaron significativas en los meses de

junio ($p=1.31 \times 10^{-6}$), octubre ($p=7.11 \times 10^{-4}$), noviembre ($p=1.22 \times 10^{-9}$) y diciembre ($p=1.188 \times 10^{-4}$) (figura 2). Al comparar la temperatura máxima entre las alzas superiores de ambas colmenas se obtuvo mayor diferencia significativa en el mes de junio ($p=4.91 \times 10^{-10}$) y julio ($p=2.00 \times 10^{-7}$). En el caso de las alzas inferiores solo se encontró diferencias significativas para $p < 0.001$.

Cantidad de recursos almacenados en la colmena

Los recursos de la colmena se determinaron usando el método subjetivo consistente en la estimación visual de los mismos. Posteriormente estas estimaciones se extrapolaron al número de celdas ocupadas por cada recurso en la colmena como medida de la fortaleza de la misma.

Cantidad de celdas con cría

La cantidad de cría registrada varió entre las 8 736-44 928 y las 7 644-26 832 celdas ocupadas por este recurso en la colmena con 10 cuadros y 9 cuadros, respectivamente. De manera general se obtuvo que la cantidad de celdas con cría para la colmena con 9 cuadros fue mayor que la de la colmena con 10 cuadros entre los meses de junio 2022 a septiembre 2022 (figura 3, superior izquierda). De manera contraria ocurrió desde octubre 2022 hasta enero 2023, en donde el número de celdas ocupadas con cría fue mayor en la colmena con 10 cuadros en relación a la colmena de 9 cuadros. La cantidad de cría registrada en este último periodo para la colmena con 10 cuadros varió desde 28 236 hasta 28 544 celdas ocupadas, con un pico en el mes de noviembre de 44 928 celdas. En este mismo periodo la colmena con 9 cuadros varió desde 14 508 hasta 26 832 celdas ocupadas con cría, registrando en el mes de noviembre un mínimo de 7644 celdas con cría.

Se observaron diferencias significativas con $p < 0.05$ para la colmena con 10 cuadros las registradas entre ambas alzas fueron en los meses de julio ($U=0.0166$), agosto ($U=0.0101$) y diciembre ($U=1.04 \times 10^{-5}$). Mientras que en la colmena con 9 cuadros solo se registró diferencia significativa entre ambas alzas en el mes de diciembre ($U=0.00189$). Por su parte la comparación de la cantidad de celdas con crías entre las alzas inferiores de las colmenas solamente arrojó diferencias significativas en el mes de noviembre ($U=0.00051$). Sin embargo, la comparación entre las alzas superiores de ambas colmenas registró diferencias significativas en los meses de agosto ($U=0.044$), octubre ($U=0.00887$) y noviembre ($U=6.52 \times 10^{-5}$).

Cantidad de celdas con miel

Para la miel (figura 3, derecha superior), de manera general se obtuvo una mayor cantidad de celdas ocupadas por este producto en la colmena con 9 cuadros respecto a la

colmena con 10 cuadros. La cantidad de celdas ocupadas con miel para la colmena con 10 cuadros varió entre 7 644 y 27 612 celdas, mientras que para la colmena con 9 cuadros varió entre 8 049 y 31 512 celdas.

No se registraron diferencias significativas al realizar una comparación en la cantidad de miel entre las alzas inferiores de la colmena con 9 cuadros respecto a la colmena con 10 cuadros. Del mismo modo ocurrió al realizar la comparación entre las alzas superiores de ambas colmenas. Sin embargo, al comparar la cantidad de miel presente entre el alza inferior y superior de una misma colmena se encontró diferencias significativas con $p < 0.05$ para la colmena con 10 cuadros en el mes de junio ($U=0.0019$), agosto ($U=0.001$) y enero ($U=0.0323$). En el caso de la colmena con 9 cuadros se encontraron diferencias significativas en diciembre ($U=0.0201$) y enero ($U=0.0025$).

Cantidad de celdas con polen

De manera general se observó que la cantidad de celdas con polen en la colmena con 10 cuadros fue superior en todos los meses excepto en los meses de noviembre y diciembre en los cuales se invierte este comportamiento (figura 3, izquierda inferior). El número de celdas totales con polen en la colmena con 10 cuadros varió entre 1 404 y 7 332, mientras que en la colmena con 9 cuadros varió entre 2 964 y 7 644 celdas. En el alza inferior de la colmena con 10 cuadros se registró menor número de celdas con polen en comparación con la colmena de 9 cuadros en los meses de octubre a diciembre. En el caso del alza superior esta inferioridad numérica en la colmena con 10 cuadros se observó en los meses de noviembre a enero.

A pesar de este comportamiento no se observaron diferencias significativas entre las colmenas al comparar sus alzas inferiores y superiores. Sin embargo, se obtuvo diferencias significativas con $p < 0.05$ en la cantidad de celdas con este recurso entre el alza superior e inferior de la colmena con 10 cuadros en los meses de octubre ($U=0.0053$), diciembre ($U=0.03185$) y enero ($U=0.0034$). Mientras que en la colmena con 9 cuadros las diferencias entre las alzas que la conforman se registraron en los meses de junio ($U=0.0228$) y diciembre ($U=7.41 \times 10^{-7}$).

Correlación entre la temperatura y los recursos almacenados en la colmena.

Al analizar la correlación entre los valores de temperatura interna y los recursos de la colmena (figura 4), para el caso de la colmena de 10 cuadros, solo se observó correlación significativa con la cantidad de celdas ocupadas con polen. La correlación entre ambos parámetros es además positiva. En este caso la correlación más fuerte fue entre la cantidad de celdas con polen y la temperatura media

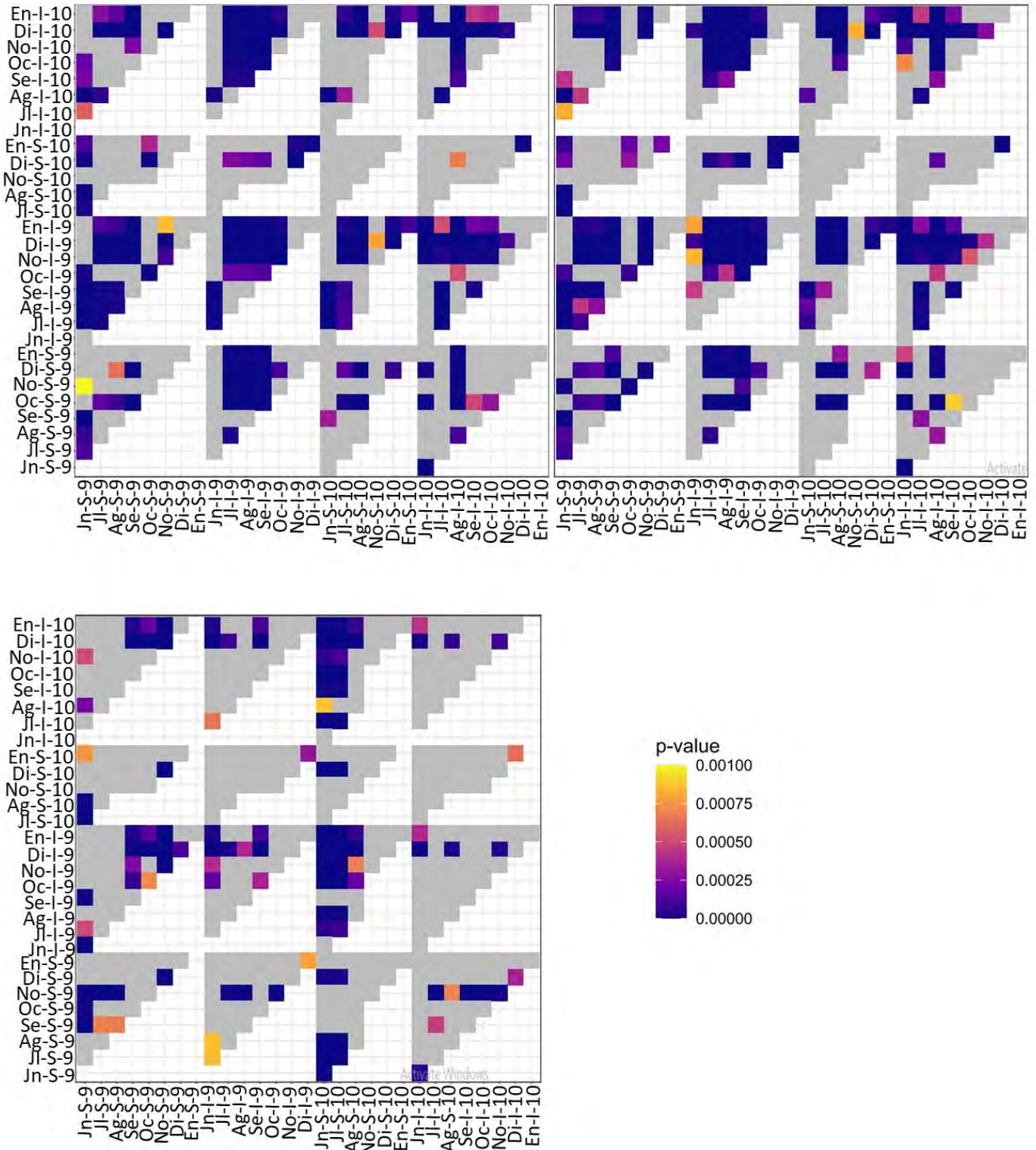


Figura 2: Diferencias entre la temperatura medida para cada alza y colmena. De izquierda a derecha: temperatura mínima, media y máxima, registrada entre los meses de junio-2022 a enero-2023

($r=0.006746$, $p<0.05$) mientras que la más débil fue con la temperatura máxima ($r=0.025$, $p<0.05$). La cantidad de celdas ocupadas con miel mostró en todos los casos una correlación negativa y en ninguno de los casos fue significativa.

En el caso de la colmena 9 solo la cantidad de celdas con miel tuvo correlación significativa con la temperatura interna de la colmena, específicamente con la temperatura

media ($r=0,044048$ y $p<0,05$). De manera general, la cantidad de celdas ocupadas con polen no mostró correlación significativa con la temperatura interna de la colmena. Tanto la cantidad de celdas ocupadas con polen como con miel mostraron una correlación negativa con la temperatura interna de la colmena.

Discusión

La regulación de la temperatura es esencial para la sobrevivencia de la colmena de *Apis mellifera*. Para las abejas de esta especie la crianza de larvas y pupas requiere temperaturas de cría dentro del estrecho rango de 32,0–36,0 °C con una media de 34,5°C (Simpson J. 1961; Bujok B. et al. 2002; Kleinhenz M. et al. 2003; Jones and Oldroyd, 2007). Los resultados obtenidos del análisis de los valores de temperatura registrados en ambas colmenas en estu-

dio, durante los meses de junio 2022- enero 2023 concuerdan parcialmente con estos antecedentes. En la colmena con 10 cuadros la temperatura interna promedio registrada osciló entre 32.0-35.4 °C ± 1.3 °C, mientras que en la colmena con 9 cuadros los valores de temperatura estuvieron entre 30.8-35.5 °C ± 1.4 °C. Si bien estos valores están dentro del rango de temperaturas, ambas colmenas tuvieron diferencias significativas entre los valores

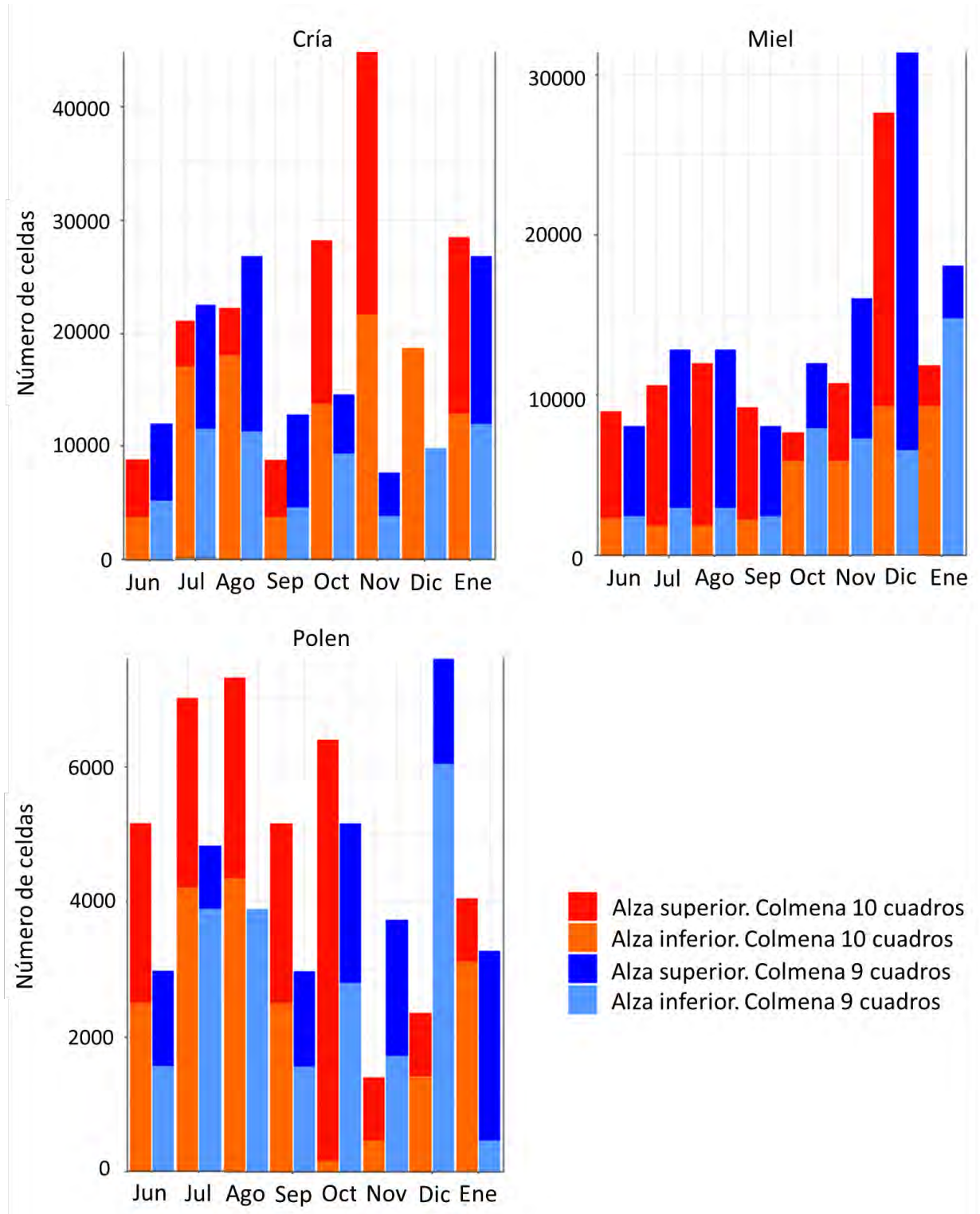


Figure 3: Variación de los recursos almacenados en ambas alzas de cada colmena. De izquierda a derecha: cantidad de celdas ocupadas con cría, miel y polen, respectivamente, durante los meses entre junio-2022 y enero-2023.

de temperatura de las alzas que las componen. En el caso de la colmena con 10 cuadros estas diferencias fueron menos frecuentes que en la colmena con 9 cuadros. En el primero de los casos se encontraron diferencias significativas ($p < 0.01$) para la temperatura media en los meses de junio, diciembre y enero. En el segundo caso se encontró diferencias significativas en todos los meses excepto en el mes de septiembre.

Estas diferencias entre el alza superior e inferior de cada colmena pueden estar dadas por la temperatura alcanzada durante la producción de calor activo de las abejas al agruparse en el centro de la cámara de cría. Diversos estudios plantean que este comportamiento contribuye a que dicha zona sea la región más caliente de la colmena (a parte del calor proveniente del cuerpo de las abejas en sí misma) (Phillips, E. F. and Demuth, G. S. 1914; Free J. B. and Butler C. G. 1955). Teniendo este último criterio en cuenta es válido recordar que los termómetros empleados en el experimento fueron colocados exclusivamente entre los dos cuadros centrales de todas las alzas, lugar donde las abejas tienen acceso. De ahí, que en nuestro caso no solo estaríamos midiendo el calor generado por las abejas que se encuentran formando agrupaciones y el calor generado desde el interior de las celdas de cría, sino también el calor activo generado por el cuerpo de las abejas que se aglomeren alrededor del termómetro.

Algunos estudios plantean que la reacción de las abejas en la generación de calor estando agrupadas se ve influida por las partes sin crías del cluster y por el estadio de desarrollo (Bujok B. *et al.* 2002; Kleinhenz M. *et al.* 2003). De

acuerdo con Free J. B. and Spencer Y. (1958) temperaturas más estables son registradas cuando las celdas contienen huevos, mientras que esta comienza a ser más variable (± 4.0 °C) a medida que la larva crece y las celdas están operculadas. Teniendo en cuenta que la cámara de cría de manera generalizada es considerada el alza inferior de la colmena, se pudiera especular acerca de que la zona de aglomeración de las abejas en la cámara de cría va a cubrir un mayor número de crías de diferentes estadios. Esto explica la mayor variación en la producción de calor y por ende de la temperatura interna registrada en el alza inferior (± 2.9 °C) de la colmena con 10 cuadros respecto a su alza superior (± 0.8 °C). Además, es válido destacar que la variación en la temperatura registrada entre las alzas de esta colmena fue menor de junio-septiembre (± 0.3 °C) en relación con la variación obtenida de octubre-enero (± 1.9 °C). En el caso de la colmena con 9 cuadros no se obtuvo este comportamiento espacial, sino que la variación en la temperatura registrada de junio-septiembre fue mayor (± 3.1 °C) respecto a la registrada de octubre-enero (± 1.0 °C). Adicionalmente, se obtuvo diferencias significativas ($p < 0.001$) al comparar el alza inferior de cada colmena en los meses de julio, septiembre y noviembre, mientras que, entre las alzas superiores en junio, julio, y diciembre.

La diferencia espacial en la generación de calor por los cluster de abejas observada en la colmena con 10 cuadros está en concordancia con lo reportado en la literatura. Diversos estudios plantean que el calor generado por las abejas en el cluster depende de la temperatura ambiente y les lleva tiempo alcanzar la temperatura adecuada para las

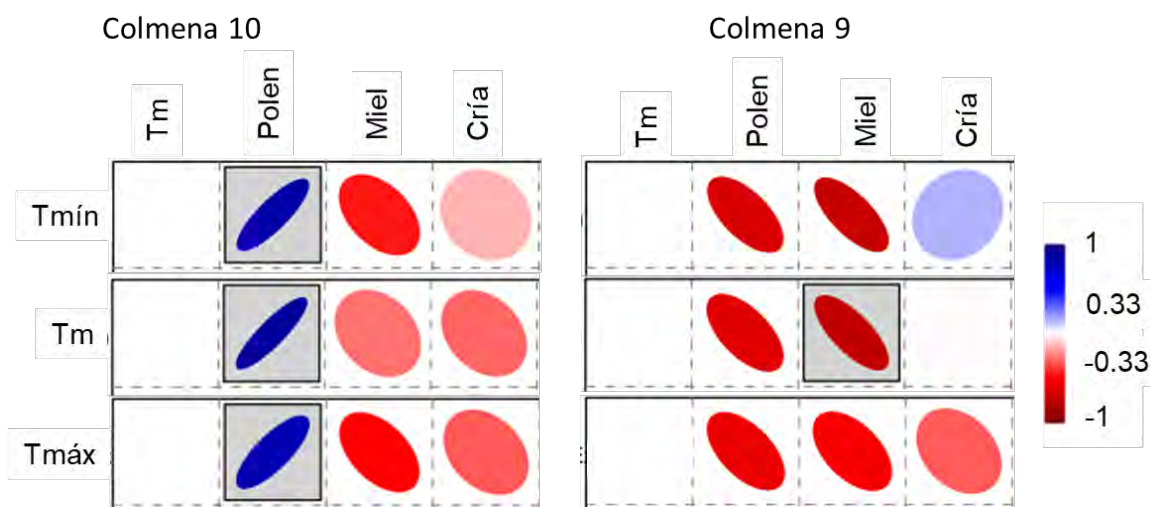


Figura 4: Correlación entre la temperatura interna de la colmena y los parámetros que contribuyen a la fortaleza de la colmena. La escala de colores representa los valores de R, azul: mayor correlación, rojo; menor correlación. La orientación de la elipse y el ancho indican el sentido (pendiente positiva indica correlación positiva mientras que, pendiente negativa indica correlación negativa) y la fortaleza de la correlación (más estrecha es indicativo de una correlación más fuerte). Las elipses sombreadas en gris y encuadradas representan una correlación significativa para $p < 0.05$.

crías y para sobrevivir sobre todo en climas donde la temperatura disminuye paulatinamente (Phillip, E. F. and Demuth, G. S. 1914; Free J. B. and Spencer Y. 1958). Si bien, Cuba no es un país con largos períodos de invierno, hay meses en los que la temperatura ambiente disminuye considerablemente. Además, el estudio realizado por Stabentheiner *et al.*, (2010) plantea que las abejas calientan o enfrían el nido sin referencia a un estándar externo fijo, utilizando aparentemente un estándar interno fijado genéticamente. En *Drosophila melanogaster*, la base bioquímica de dicho estándar se ha dilucidado recientemente, en el cual sus elementos centrales parecen ser proteínas transitorias receptoras de canales de cationes termosensibles en las membranas de las células neuronales (Abram *et al.*, 2016).

Este último criterio pudiera ser la base para justificar el hecho de que a pesar de las diferencias significativas encontradas, ambas colmenas tuvieron un comportamiento similar. Desde junio hasta octubre la temperatura en el alza superior fue mayor que la temperatura registrada en el alza inferior en ambas colmenas. Sin embargo, una vez comenzado octubre y hasta enero la temperatura en ambas alzas superiores superó la temperatura en las alzas inferiores. Esto concuerda con los criterios de la termorregulación de la colmena visto como un supraorganismo en su totalidad (Southwick E. 1991; Moritz R. and Southwick E. 1992). De modo que los valores medidos en un único punto no son indicativo o precisos para hablar de la capacidad termorreguladora de las abejas, sino que se necesita más de una variable para un mejor entendimiento.

Los insectos pueden usar la temperatura absoluta y los gradientes de temperatura como señales térmicas para guiar su comportamiento y su interacción. En este sentido Stabentheiner (2001) planteó que el reclutamiento de nuevas pecoreadoras a una fuente particular de néctar por parte de las abejas que regresan a la colmena de pecorear puede involucrar sensores térmicos.

En el presente estudio, además, se registraron la cantidad de celdas con cría, miel y polen presentes en ambas colmenas durante el mismo período de tiempo. La temperatura y los gradientes de temperatura son una fuente de información que guía el comportamiento de las abejas individuales y su interacción. Además, tanto las obreras como las hormigas cortadoras de hojas (*Atta vollenweideri*) pueden ser entrenadas para asociar ciertas temperaturas con una recompensa de comida (Hammer *et al.*, 2009; Kleineidam *et al.*, 2007). El estudio reciente realizado por Ruchty *et al.*, (2010) demostró que las hormigas *Atta* poseen neuronas sensibles a los cambios de temperatura por

debajo de 0.1 °C en un amplio rango de temperatura externa. Comportamientos como la orientación térmica claramente requiere la percepción de gradientes de temperatura.

Conclusiones

La temperatura en el interior de la colmena se mantuvo en un rango propicio para el desarrollo de la cría, demostrando la capacidad de *Apis mellifera* en la termorregulación y en la actividad de pecoreo. Además, presentaron una vitalidad y fortaleza adecuada.

Agradecimientos

A Carlos Enrique Rosell por su colaboración en la selección de las colmenas y supervisión de los termómetros.

Contribución de los autores

Todos los autores contribuyeron en igual medida a la realización de este trabajo

Conflictos de interés

Los autores declaran que no existen conflictos de interés

Referencias Bibliográficas

- Becher MA, Scharpenberg H, Moritz RFA (2009) Pupal developmental temperature and behavioral specialization of honeybee workers (*Apis mellifera* L.). *J Comp Physiol A* 195: 673–679.
- Boecking O, Genersch E. 2008 Varroosis: the ongoing crisis in bee keeping. *J. Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit* 3, 221–228. (doi:10. 1007/s00003-008-0331-y)
- Büchler, R., Berg, S., Le Conte, Y. (2010) Breeding for resistance to *Varroa destructor* in Europe. *Apidologie*, 41, 393–408
- Bujok B, Kleinhenz M, Fuchs S, Tautz J (2002) Hot spots in the bee hive. *Naturwissenschaften* 89: 299–301.
- Delaplane, K S; Berry, J A; Skinner, J A; Parkman, J P; Hood, W M (2005) Integrated pest management against *Varroa destructor* reduces colony mite levels and delays economic threshold. *Journal of Apicultural Research* 44: 117- 122.
- Delaplane, K S; Ellis, J D; Hood, W M (2010) A test for interactions between *Varroa destructor* (Acari: Varroidae) and *Aethina tumida* (Coleoptera: Nitidulidae) in colonies of honey bees (Hymenoptera: Apidae). *Annals of the Entomological Society of America* 103(5): 711-715. <http://dx.doi.org/10.1603/AN09169>
- Delaplane K. S, Van der Steen J and Guzman-Novoa E (2013) Standard methods for estimating strength parameters of *Apis mellifera* colonies. *Journal of Apicultural Research* 52(1)
- Fahrenholz L, Lamprecht I, Schrick B (1992) Calorimetric investigations of different castes of honey bees, *Apis mellifera carnica*. *J Comp Physiol B* 162: 119–130.
- Groh C, Tautz J, Roessler W (2004) Synaptic organization in the adult honeybee brain is influenced by brood-temperature control du-

- ring pupal development. *Proc Natl Acad Sci USA* 101: 4268–4273.
- Guzmán-Novoa, E; Correa Benítez, A; Montaña, L G E; Guzmán Novoa, G (2011) Colonization, impact, and control of Africanized honey bees in Mexico. *Revista Veterinaria México* 42 (2): 149-178.
- Hammer, Ø., Harper, D. A. T., & Ryan, P. D. (2001). PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4, 9 p.
- Harris, J. W. (2008) Effect of brood type on *Varroa* -sensitive hygiene by worker honey bees (Hymenoptera: Apidae). *Annls. Entomol. Soc. Am.* 101, 1137-1144
- Hawkins G. 2020 Investigating naturally evolved *Varroa* destructor resistance in *Apis mellifera* honey bees: host behavioural traits and parasite reproductive biology. MRes thesis, The University of Salford, Salford.
- Heinrich B (1993) *The Hot-Blooded Insects*. Berlin, Heidelberg, London, Paris: Springer. 601 p
- Jones JC, Myerscough MR, Graham S, Oldroyd BP (2004) Honey bee nest thermoregulation: diversity promotes stability. *Science* 305: 402–404
- Jones CJ, Helliwell P, Beekman M, Maleszka R, Oldroyd BP (2005) The effects of rearing temperature on developmental stability and learning and memory in the honeybee, *Apis mellifera*. *J Comp Physiol A* 191: 1121–1129.
- Jones, J.C., Oldroyd, B.P., 2007. Nest Thermoregulation in Social Insects. *Adv. Insect Physiol.* 33, 154–191.
- Kleinhenz M, Bujok B, Fuchs S, Tautz J (2003) Hot bees in empty broodnest cells: heating from within. *J Exp Biol* 206: 4217–4231.
- Koeniger N (1978) Das Wärmen der Brut bei der Honigbiene (*Apis mellifera* L.). *Apidologie* 9: 305–320.
- Kovac H, Stabentheiner A, Hetz SK, Petz M, Crailsheim K (2007) Respiration of resting honeybees. *J Insect Physiol* 53: 1250–1261.
- Kovac H, Stabentheiner A, Brodschneider R (2009) Contribution of honeybee drones of different age to colonial thermoregulation. *Apidologie* 40: 82–95
- Kronenberg F, Heller C (1982) Colonial Thermoregulation in Honey Bees (*Apis mellifera*). *J Comp Physiol* 148: 65–76
- Mandl M, Stabentheiner A, Kovac H (2004) Cooling by water droplets in a breeding honeybee colony. In: *Proceedings of the First European Conference of Apidology EurBee* (Bernardinelle, I & Milani, N, eds.), Arti Grafiche Friulane SpA, Udine. 59 p
- Mandl M (2005) Thermoregulation im brütenden Bienenvolk. Diploma thesis, Karl-Franzens-Universität Graz, Austria.
- Martin SJ, Hawkins G, Brettell LE, Reece N, CorreiaOliveira M, Allsopp M. 2019 *Varroa* destructor reproduction and cell recapping in mite-resistant *Apis mellifera* populations. *Apidologie* 51, 1–3.
- Mondet F et al. 2021 Chemical detection triggers honey bee defense against a destructive parasitic threat. *Nat. Chem. Biol.* 17, 524–530. (doi:10.1038/s41589-020-00720-3)
- Moritz RFA, Southwick EE (1992) *Bees as superorganisms*. Berlin, Heidelberg New York: Springer. 601 p
- Skinner, J J; Parkman, J P; Studer, M D (2001) Evaluation of honey bee miticides, including temporal and thermal effects on formic acid gel vapours, in the central south-eastern USA. *Journal of Apicultural Research* 40: 81-89.
- Southwick EE (1991) The colony as a thermoregulating superorganism. In: Goodman LJ, Fisher RC, eds. *The Behaviour and Physiology of Bees*. Wallingford UK: CAB International. pp 28–47.
- Oldroyd, B. P. and Thompson, G. J. (2007). Behavioural genetics of the honey bee, *Apis*. *Adv. Ins. Physiol.* 33, 1–49.
- Petz M, Stabentheiner A, Crailsheim K (2004) Respiration of individual honeybee larvae in relation to age and ambient temperature. *J Comp Physiol B* 174: 511–518.
- Rinderer, T. E., Harris, J. W., Hunt, G. J., de Guzman, L. I. (2010) Breeding for resistance to *Varroa* destructor in North America. *Apidologie*, 41, 409–424
- Rodríguez, A., Yadró, C. A., Invernizzi, C., Branchiccela, B., Pérez, A. M., Pérez, A., ... & Antúnez, K. (2020). *Nosema ceranae* and RNA viruses in honey bee populations of Cuba. *Journal of Apicultural Research*, 59(4), 468-471.
- Rodríguez, A., Grindrod, I., Webb, G., Pérez, A. M., & Martin, S. J. (2022). Recapping and mite removal behaviour in Cuba: home to the world's largest population of *Varroa*-resistant European honeybees. *Scientific Reports*, 12(1), 15597.
- Schmolz E, Hoffmeister D, Lamprecht I (2002) Calorimetric investigations on metabolic rates and thermoregulation of sleeping honeybees (*Apis mellifera carnica*). *Thermochim Acta* 382: 221-227.
- Simpson J (1961) Nest climate regulation in honey bee colonies. *Science* 133: 1327–1333
- Spivak, M., & Gilliam, M. (1998). Hygienic behaviour of honey bees and its application for control of brood diseases and *Varroa*. *Bee World*, 79(4), 169–186. <https://doi.org/10.1080/0005772X.1998.11099408>
- Spivak, M., & Reuter, G. (2001). Resistance to American foulbrood disease by honey bee colonies *Apis mellifera* bred for hygienic behavior. *Apidologie*, 32(6), 555–565. <https://doi.org/10.1051/apido:2001103>
- Stabentheiner A (1996) Effect of foraging distance on the thermal behavior of honeybees during dancing, walking and trophallaxis. *Ethology* 102: 360–370.
- Stabentheiner A (2001) Thermoregulation of dancing bees: thoracic temperature of pollen and nectar foragers in relation to profitability of foraging and colony need. *J Insect Physiol* 47: 385–392
- Stabentheiner A, Vollmann J, Kovac H, Crailsheim K (2003) Oxygen

consumption and body temperature of active and resting honeybees. J Insect Physiol 49: 881–889.

Stabentheiner A, Pressl H, Papst T, Hrassnigg N, Crailsheim K (2003) Endothermic heat production in honeybee winter clusters. J Exp Biol 206: 353–358.

Stabentheiner A, Kovac H, Brodschneider R (2010) Honeybee Colony Thermoregulation – Regulatory Mechanisms and Contribution of Individuals in Dependence on Age, Location and Thermal Stress

Starks PT, Johnson RN, Siegel AJ, Decelle MM (2005) Heat shielding: a task for youngsters. Behav Ecol 16: 128–132.

Tautz J, Maier S, Groh C, Roessler W, Brockmann A (2003) Behavioral performance in adult honey bees is influenced by the temperature experienced during their pupal development. Proc Natl Acad Sci USA 100: 7343–7347.

Yadró, C. A., Rodríguez, A., Pérez, A. M., Pérez, A., Invernizzi, C., & Tomasco, I. H. (2021). Cuban honey bees: significant differentiation from European honey bees in incomplete isolation. Journal of Apicultural Research, 60(3), 375-384.