

ACONDICIONAMIENTO TERMICO DE COLMENAS CON SUSTANCIAS DE CAMBIO DE FASE

A. Boucíguez¹, M. Vilte¹, L. Lapetina² y M. Lara³

¹ Facultad de Ciencias Exactas. Universidad Nacional de Salta.

Av. Bolivia 5150. Salta. Tel. 0387 – 4255424 – E-mail: bouciga@unsa.edu.ar, viltem@unsa.edu.ar

² Facultad de Ciencias Veterinarias. Universidad Nacional de Rosario. Tesista doctoral.

Ruta 33 y Ovidio Lagos. Casilda, Santa Fé, Argentina. – E-mail: lapetina@fceia.unr.edu.ar

³ Investigador del CONICET, director del LEA y director de la Tesis doctoral.

Instituto de Física Rosario (CONICET) - Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Rosario.

Av. Pellegrini 250. Rosario. Tel. 0341– 495467 (int. 33) – E-mail: malara@fceia.unr.edu.ar

RESUMEN: En este trabajo se propone la utilización de sustancias orgánicas que presentan cambio de fase alrededor de los 35 °C en el acondicionamiento térmico de colmenas. Esta es temperatura que debe mantenerse en la cámara de cría, a fin de que las abejas realicen el menor trabajo metabólico posible. La sustancia de cambio de fase, envasada en recipientes contruidos a tal fin y adosados a las paredes de la colmena, es utilizada para moderar la influencia de las temperaturas externas a la que se encuentra expuesta. Los resultados muestran que un pequeño espesor de pared de cambio de fase es suficiente para mantener la colmena en la temperatura deseada.

Palabras claves: colmenas, sustancias de cambio de fase, acondicionamiento térmico, abejas.

INTRODUCCION

Las abejas son sensibles a los cambios de temperaturas; necesitan conservar la cámara de cría a una temperatura de 35°C, cuanto menor sea la diferencia entre ésta y el medio exterior, menor es el trabajo metabólico que deben realizar para mantenerla. Debido a su excelente organización social, pueden controlar el estado térmico del interior de la colmena, (Ocharan Ibarra, 2004) sus termo - receptores permiten percibir cuando se producen cambios de temperatura en la colonia y regularlos con su trabajo, pero el pequeño volumen de su cuerpo hace que la pérdida de calor no se compense con su tasa metabólica. Por ello, es ideal asegurar que la temperatura en el interior de la colmena se encuentre tan próxima como sea posible al valor ideal de 35°C, pudiendo variar entre 32 y 36°C. A tal efecto, se propone la utilización de sustancias orgánicas de origen animal, que presenten cambio de fase alrededor de este punto como moderadoras de temperatura de la colmena.

La utilización de tales sustancias en el acondicionamiento térmico con distintos propósitos ha sido estudiada con anterioridad, considerando que ellas se encuentran inicialmente a la temperatura de fusión. (Hasan y Sayigh, 1994; Hamdan y Elwerr, 1996; Farid et al, 2004, Boucíguez y Lara, 2007.) Estas sustancias no presentan, problemas de subenfriamiento ni alteraciones en sus propiedades térmicas, tras sucesivos ciclos de fusión – solidificación, a la vez que ser químicamente más estables que las inorgánicas. (Swet, 1981) Asimismo, por tener una alta viscosidad, no se producen movimientos convectivos apreciables en espesores pequeños de material, por lo que el tratamiento matemático y numérico resulta solo conductivo.

En la Figura 1 se presenta un esquema de la colmena conjuntamente con el material de cambio de fase, envasado en recipientes adecuados (generalmente de chapa negra o galvanizada) adosados a ella, los que tienen las mismas dimensiones que la colmena y pueden ser removidos, mientras que su espesor es de 3cm. Se ha tomado este espesor, en virtud de los resultados obtenidos en un trabajo anterior, donde se han ensayado distintos espesores para tal acondicionamiento. (Boucíguez, et al, 2009)

Dado que es recomendable ubicar las colmenas en la dirección N – S y a media sombra, se han considerado las temperaturas a las que podría estar expuesta por ambas paredes. En particular en la localidad de Casilda, provincia de Santa Fé (33° S) zona donde ellas se encuentran instaladas, la temperatura en verano oscila entre los 20 y los 25 °C y en invierno entre los 12 y 15 °C; por lo que se ha considerado que si en algún momento del día una cara estuviera expuesta al sol, su temperatura podría subir a unos 30°C, mientras que la opuesta encontrarse a 20°C en verano y bajo las mismas consideraciones, en el invierno éstas se encontrarían en 20 y 12 °C, respectivamente.

A los efectos de evaluar la factibilidad de tal acondicionamiento se ha realizado un modelo numérico que permite obtener la evolución de temperatura a lo largo de la colmena conjuntamente con la pared de cambio de fase. A continuación se detalla la formulación matemática del problema, el modelo de cálculo, el comportamiento experimental de la sustancia de cambio de fase, la obtención de sus parámetros térmicos y los resultados obtenidos con su correspondiente análisis.

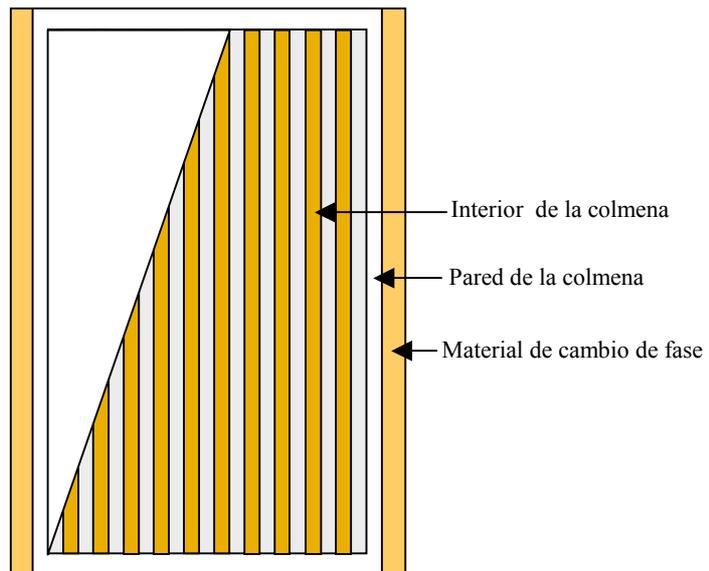


Figura 1: Corte esquemático de la colmena con la pared de cambio de fase adosada a ella.

FORMULACION MATEMATICA Y PLANTEO DEL PROBLEMA

El estudio del problema consiste en calcular la temperatura en tres materiales diferentes: sustancia de cambio de fase, pared de la colmena e interior de la misma, a los efectos de analizar la implementación de la sustancia de cambio de fase en el acondicionamiento térmico de las colmenas. Un esquema de tales materiales se presenta en la Figura 2, donde se señalan también las dimensiones y los intervalos considerados para el cálculo, así como temperaturas externas a las que se haya expuesto el conjunto. Los paneles con el material de cambio de fase, son externos a la colmena y pueden adosarse a ella o removerse, según corresponda de acuerdo a las condiciones ambientales externas; su pequeño espesor permite que tal operación pueda realizarse sin mayores inconvenientes.

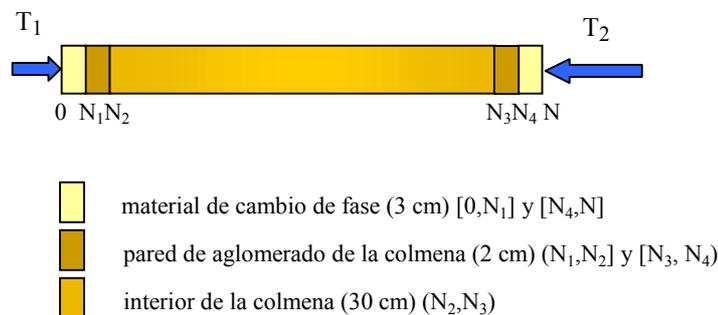


Figura 2: Esquema que presenta el corte de la colmena donde se muestra la distribución de los distintos materiales.

Se espera que la colmena esté expuesta al calor solar por sus paredes laterales, ya que como debe colocárselas en áreas sombreadas, la superior debería estar al resguardo de la radiación. Dadas las dimensiones del problema se realiza un modelo unidimensional. El material de cambio de fase se encuentra entre $x=0$ y $x=N_1=3\text{cm}$ y entre $x=N_4=37\text{cm}$ y $x=N=40\text{cm}$. La pared de la colmena se encuentra entre $x=N_1=3\text{cm}$ y $x=N_2=5\text{cm}$ y entre $x=N_3=35\text{cm}$ y $x=N_4=37\text{cm}$, mientras que el interior de la colmena está entre $x=N_2=5\text{cm}$ y $x=N_3=35\text{cm}$. Se asume que la colmena se encuentra inicialmente a su temperatura óptima, denominada T_0 y que la sustancia de cambio de fase funde a dicha temperatura, es decir $T_f=T_0$.

A los efectos del cálculo se trabajó con un modelo combinado entálpico – difusivo. (Alexiades y Solomon, 1993; Zerroukat y Chatwin, 1994.) Con el primero, se evaluó el comportamiento en la sustancia de cambio de fase, por ser éste más sencillo en su formulación y facilitar la obtención de los resultados, en especial cuando se presentan interfaces sólido – líquido; con el segundo, se evaluó el comportamiento en la pared de la colmena y en su interior. Con estas consideraciones, el problema resulta completamente formulado por las ecuaciones (1) a (6); en ellas $T(x,t)$ representa la temperatura, función de la posición x y el tiempo t . La temperatura inicial de la sustancia de cambio de fase es T_i , mayor que la de fusión y en principio diferente en verano e invierno, para asegurar un buen acondicionamiento térmico en ambas estaciones, que implique el menor gasto metabólico de las abejas en mantener la temperatura en el interior de la colmena, compatible con la temperatura en que pueda llenarse los paneles de cambio de fase, sin riesgo de quemaduras por parte del operario que realiza el trabajo. Las cinco primeras se refieren al material de cambio de fase, en las que $h(x,t)$ es la entalpía, mientras que la última corresponde a la pared de la colmena y su interior; debiendo entenderse que la difusividad es la correspondiente a cada material: pared o interior de la colmena, según corresponda. Los parámetros térmicos de cada uno de los constituyentes se especifican más adelante, conjuntamente con su valor.

Para el material de cambio de fase $[0, N_1]$ y $[N_4, N]$

$$T(x,t) = \begin{cases} T_f + \frac{h(x,t)}{\rho c_s} & h(x,t) \leq 0 \quad \text{sólido} \\ T_f & 0 < h(x,t) < \rho L \quad \text{interface} \\ T_f + \frac{h(x,t) - \rho L}{\rho c_l} & h(x,t) \geq \rho L \quad \text{líquido} \end{cases} \quad (1)$$

$$T(x,0) = T_l > T_f \quad (2)$$

$$h(x,0) = \rho L + \frac{T_l - T_f}{\rho c_l} \quad (3)$$

Condición de contorno en el extremo izquierdo ($x=0$)

$$T(0,t) = T_1 \quad t > 0 \quad (4)$$

Condición de contorno en extremo derecho ($x=N$)

$$T(N,t) = T_2 \quad t > 0 \quad (5)$$

Para la colmena: pared $(N_1, N_2]$ y $[N_3, N_4)$ e interior (N_2, N_3)

$$\frac{\partial T(x,t)}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 T(x,t)}{\partial x^2} \quad t > 0 \quad (6)$$

El material de cambio de fase es una grasa orgánica de origen animal, dada su estabilidad y fácil adquisición en plaza, sus parámetros térmicos han sido medidos con anterioridad, ellos son: densidad $\rho=914.2\text{kg/m}^3$; calor específico $c_s=6103\text{J/kg } ^\circ\text{C}$ y $c_l=7103\text{J/kg } ^\circ\text{C}$, para el sólido y líquido respectivamente, conductividad térmica $k_s=0.57\text{W/m } ^\circ\text{C}$ y $k_l=0.95\text{W/m } ^\circ\text{C}$, también para sólido y líquido respectivamente y calor latente de fusión $L=10000\text{J/kg}$. (Vilte y Boucíguez, 2007)

La sustancia de cambio de fase deberá encontrarse inicialmente líquida a temperatura igual o mayor a la de fusión. La temperatura exterior, es decir la condición de borde, se ha tomado igual a $T_1=20^\circ\text{C}$ y $T_2=30^\circ\text{C}$ en verano e igual a $T_1=12^\circ\text{C}$ y $T_2=20^\circ\text{C}$ en invierno, para las superficies externas que colindan con la pared de cambio de fase en cada lateral de la colmena.

Asimismo, se han realizado ensayos del comportamiento del material de cambio de fase, cuando es enfriado a partir del estado líquido hasta su solidificación (y calentado a partir del estado sólido hasta su fusión) con el propósito de observar posibles efectos convectivos que pudieran producirse, los que resultan mínimos a los fines del cálculo durante el proceso de fusión; mientras que el frente de solidificación avanza sin deformación apreciable, tal como se visualiza en la Figura 3.

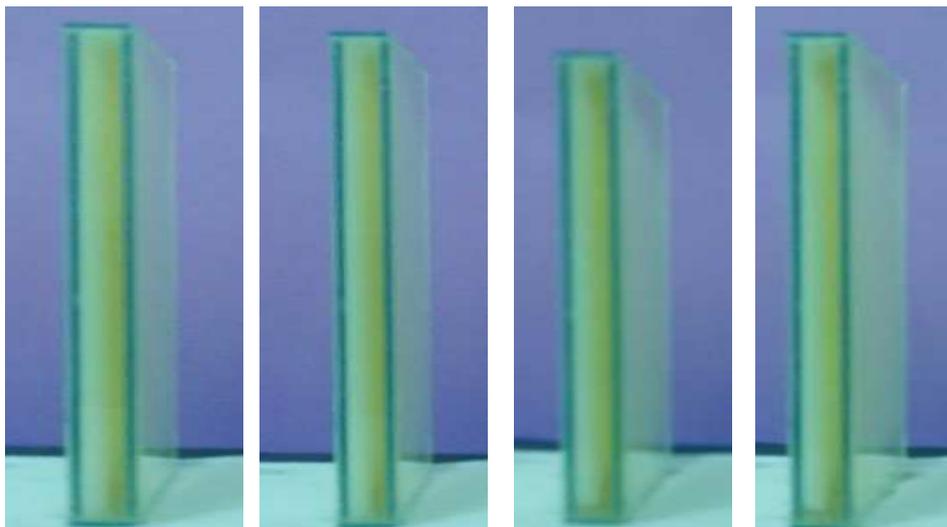


Figura 3: Comportamiento de la sustancia de cambio de fase.

Los parámetros para la pared de la colmena se han obtenido de tablas, siendo éstos: densidad $\rho=400\text{kg/m}^3$; calor específico $c=1400\text{J/kg } ^\circ\text{C}$ y conductividad térmica $k=0.08\text{W/m } ^\circ\text{C}$, con lo que su difusividad resulta $\alpha=k/\rho c=1.43 \cdot 10^{-7}\text{m}^2/\text{s}$. (West, 1983)

En cuanto a los valores de los parámetros térmicos en el interior de la colmena, se ha considerado como integrada prácticamente por miel, ya que éste es el componente principal; asimismo, resulta evidente que es difícil determinarlos, pues dependen de la especie floral de la región y la época del año, así como de la actividad de la propia colmena. A los efectos de tomar un valor, se ha trabajado con miel directamente extraída de la colmena sin ningún tipo de tratamiento; sometiéndola a un proceso de calentamiento, a potencia constante igual a 720 W/m^2 , durante diez horas, de modo de que alcance una temperatura próxima a los $35 \text{ }^\circ\text{C}$, luego se la dejó enfriar en contacto con el ambiente. El registro de temperaturas obtenido se muestra en la Figura 4. En ella se observa que, durante las primeras 4 horas la temperatura se eleva rápidamente, a partir de ese momento el crecimiento es más lento, utilizándose los valores comprendidos entre las 4 y las 10 horas para determinar la difusividad térmica y la conductividad térmica del material, ambos necesarios para evaluar el comportamiento de la colmena con el material de cambio de fase. Los valores promedios de ambos parámetros resultaron: $\alpha=3.8 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ y $k=1.6 \text{ W/m }^\circ\text{C}$. Cabe señalar que estos valores, no son los correspondientes a los de la miel comercial ya que esta última ha sido sometida a diferentes procesos, tal como filtrado y pasteurización, para asegurar su aptitud para consumo y su valor comercial y por tanto no son los que figuran en bibliografía para la miel.

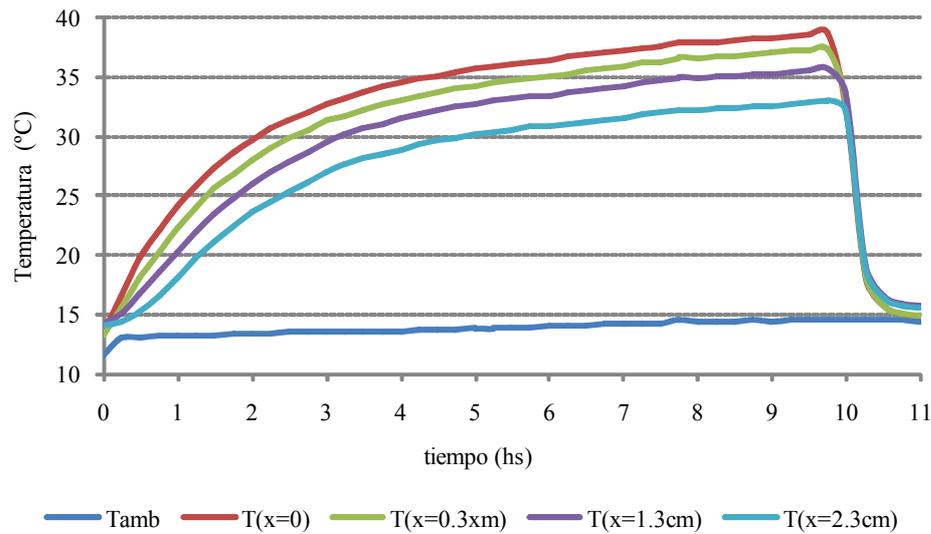


Figura 4: Temperaturas alcanzadas por la miel con la que se determinó su conductividad y su difusividad térmica.

Con el propósito de evaluar el comportamiento del material de cambio de fase como moderador de la temperatura de la colmena, se ha realizado un modelo numérico en MATLAB, que permite obtener el perfil de temperatura a lo largo de todo el intervalo, es decir, $[0, N]$ en el que se tiene en cuenta los distintos parámetros térmicos involucrados, especialmente en la región en que cambia de un material a otro. Este lenguaje posibilita la rápida visualización de resultados y la realización simultánea de los gráficos respectivos.

RESULTADOS OBTENIDOS Y ANALISIS DE LOS MISMOS.

En la Figura 5, se presenta el perfil de temperatura al cabo de 6, 12, 18 y 24 horas, de haber adosado a las paredes de la colmena, el material de cambio de fase, para la situación de verano, estando la sustancia de cambio de fase inicialmente en 40°C , al momento de su colocación. Esto puede hacerse en cualquier momento del día, en particular, es recomendable en las primeras horas de la mañana, habiéndose tomado dicho instante como 0 hs, a los efectos de contar el tiempo desde el momento en que se inicia el proceso de acondicionamiento térmico. Si fuera necesario podría quitarse los módulos que contienen el material de cambio de fase y aislarse el panel durante la noche, o bien aislar el conjunto, reiniciando el ciclo al día siguiente. Se considera que la colmena se encuentra a 35°C al momento de colocar los paneles de cambio de fase.

En la Figura 6, se presenta el perfil de temperaturas al cabo de 6, 12, 18 y 24 horas, de haber adosado el material de cambio de fase a las paredes de la colmena, para la situación de invierno, estando la sustancia de cambio de fase en 45°C , al momento de su colocación; siendo válidas las mismas consideraciones que para la situación de verano.

En ambas figuras, dadas las dimensiones propuestas, el interior de la colmena se encuentra entre los 5 y los 35 cm, encontrándose el centro en 20cm.

En ambas situaciones (verano e invierno) el interior de la colmena se mantiene prácticamente en los 35°C , necesarios para lograr el menor trabajo metabólico de las abejas en el sostén de la temperatura interna. Por ello, puede decirse que la sustancia de cambio de fase, contribuye favorablemente a mejorar la producción apícola.

Esto indica también que de tener temperaturas externas más bajas podrían mantenerse en las condiciones deseadas, colocando la sustancia de cambio de fase a una temperatura mayor o bien aislando la colmena durante las horas de la noche. De tener

temperaturas externas elevadas, se debería colocar la sustancia de cambio de fase a temperatura menor, la que podría ser eventualmente menor a la de fusión si así lo requiriera las condiciones externas.

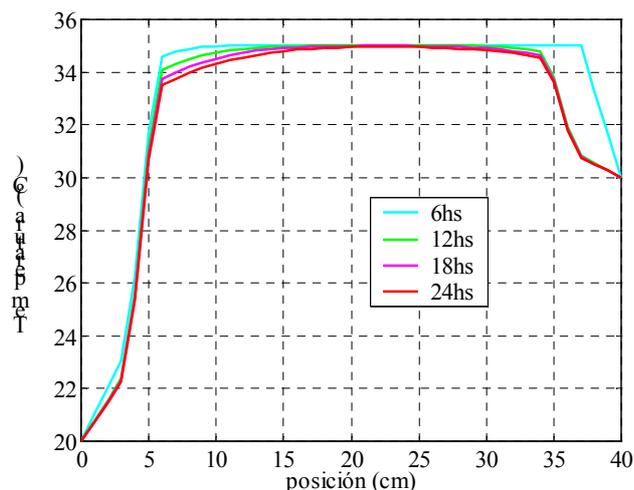


Figura 5: Temperatura al cabo de 6, 12, 18 y 24 horas de haber adosado la pared de cambio de fase, en verano.

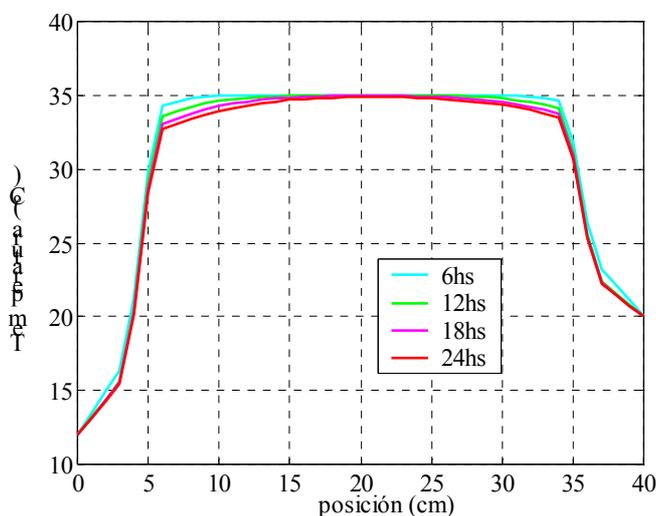


Figura 6: Temperatura al cabo de 6, 12, 18 y 24 horas de haber adosado la pared de cambio de fase, en invierno.

CONCLUSIONES

El material de cambio de fase, es de fácil adquisición y soporta reiterados ciclos de fusión – solidificación sin alterar sus propiedades térmicas, con la sola condición que se encuentre envasado en recipientes herméticos, para evitar contacto con material particulado del ambiente externo que pueda adherirse a él por tratarse de una grasa. Al ser los paneles de pequeño espesor y contar con un envase independiente, pueden ser adosados a la colmena para moderar su temperatura o retirados de no ser necesario tal acondicionamiento

El modelo de cálculo combinado (hentalpico – difusivo) permite obtener rápidamente la distribución de temperaturas en todo el dominio bajo estudio, el lenguaje utilizado posibilita la rápida visualización de los resultados.

Los resultados obtenidos muestran que la pared de cambio de fase, contribuye a mantener el interior de la colmena en un rango de temperatura adecuado para asegurar un gasto energético prácticamente nulo por parte de las abejas, lo que redundaría en la producción de miel. De existir otras condiciones externas, de temperaturas más bajas por ejemplo, podría aumentarse la temperatura a la que se coloca el material del cambio de fase y reemplazarse los módulos de este material por materiales aislantes durante la noche, o bien, agregarse el aislante al conjunto, a fin de que las abejas realicen el menor gasto energético posible; removiéndose los paneles aislantes al inicio del día fin de que el sistema vuelva a realizar el ciclo.

Si bien, las condiciones externas pueden variar de una región a otra, resulta evidente que tales sustancias constituyen una alternativa interesante en el mantenimiento de temperaturas adecuadas dentro de la colmena, lo que repercute en la producción de miel y en consecuencia en la ganancia que tendría el productor.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha desarrollado en el marco del Proyecto de Investigación N° 1886 del Consejo de Investigaciones de la Universidad Nacional de Salta.

Los autores agradecen también, al laboratorio de Energías Alternativas (LEA-IFIR-CONICET) y al INENCO (UNSa – CONICET) donde se llevan a cabo los ensayos experimentales y al Ing. Agr. Juan Pablo Afonso por proveer la miel extraída directamente de la colmena sin ningún tratamiento posterior, utilizada para estimar sus coeficientes térmicos.

REFERENCIAS

- Alexiades, V. y Solomon, A. (1993) *Mathematical Modeling of Melting or Freezing Processes*. Washington, United States. Hemisphere Publishing Corporation, A Member of the Taylor & Francis Group.
- Boucíguez, A; Lapetina, L y Lara, M. (2009) Estudio de Posibilidad de Regulación Térmica de Colmenas Usando Sustancias de Cambio de Fase. CADIR 2009, Rosario, 1 al 4 de setiembre de 2009, pág. 1151 - 1158.
- Boucíguez, A y Lara, M. (2007) Acondicionamiento Térmico para Productos Agrícolas: Una Propuesta que Permite Ahorrar Energía. *Revista Ingenerare*. Facultad de Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Chile. N° 21, pág. 49-54
- Farid, M; Khudhair, A; Razack, S; Al-Hallaj, S. (2004) A Review on Phase Change Energy Storage: Materials and Applications. *Energy Conversion and Management* N° 45, 1597 – 1615.
- Hamdan, M y Elwerr, F. (1996) Thermal Energy Storage Using A Phase Change Material. *Solar Energy*, Vol. 56, N° 2, pág. 183 – 189.
- Hasan, A y Sayigh, A. (1994) Some Fatty Acids as Phase Change Thermal Energy Storage Materials. *Renewable Energy*, Vol. 4, N° 1, pág. 69 – 76.
- Ocharan Ibarra, R. (2004) Como Percibe la Abeja su Ambiente. Conferencia dictada en el curso “Las abejas y la apicultura en Asturias” pág. 37-38 http://www.uniovi.es/BOS/Cursos/Verano/Lasabejasyaapicultura/00_PROGRAMA_2004.DOC
- Swet, Ch. (1981) *Energy Storage for Solar Applications*. Cap. 6. *Solar Energy Handbook*. J. Kreider and F. Kreith. Mc Graw Hill Book Company.
- Vilte, M y Boucíguez, A. (2007) Estudio Experimental del Comportamiento Térmico Grasas Orgánicas. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, Revista de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 11, pág. 3.25 – 3.31.
- West, C. (1983) *International Critical Tables of Numerical Data*. Physics, Chemistry and Technology. Editorial McGraw-Hill Book Company
- Zerroukat, M y Chatwin, C. (1994) *Computational Moving Boundary Problems*. England. Research Studies Press LTD. John Wiley & Sons.

THERMAL CONDITIONING OF BEEHIVES USING PHASE CHANGE MATERIALS.

ABSTRACT: The use of phase change materials (with melting point about 35 °C) in thermal conditioning of beehives is presented here. This is the temperature at which, the apiary must be maintained to assure its best performance. A suitable packed of phase change material is added to the walls of the beehive, in order to control the external temperature conditions. From the obtained results, it follows that a little thickness of this material is enough to assure a good temperature conditioning into the honeycomb.

Keywords: beehive, phase change material, thermal conditioning, bees.