

## UNA PROPUESTA DE AHORRO ENERGETICO UTILIZANDO SUSTANCIAS ORGANICAS CON CAMBIO DE FASE A TEMPERATURA AMBIENTE.

### **Boucíguez, Angélica**

Facultad de Ciencias Exactas. Universidad Nacional de Salta. Av. Bolivia 5150, Salta – Argentina.  
e-mail: bouciga@unsa.edu.ar

### **Lozano, Ricardo**

Facultad de Ciencias Exactas. Universidad Nacional de Salta. Av. Bolivia 5150, Salta – Argentina.  
e-mail: lozanor@unsa.edu.ar

### **Lara, Miguel Angel**

Facultad de Cs. Agrarias. IFIR (UNR - CONICET). Universidad Nacional de Rosario. Pellegrini 250. Rosario - Argentina.  
e-mail: malara@fceia.unr.edu.ar.

**Resumen:** Este trabajo discute la posibilidad de utilizar sustancias orgánicas, con cambio de fase a temperaturas menores de 20°C, para absorber el calor de respiración generado por productos agrícolas. Estas sustancias son estables, tienen parámetros térmicos adecuados a estos fines y no presentan problemas de sub-enfriamiento. El estudio se realiza mediante un modelo numérico que permite evaluar el comportamiento de tales sustancias cuando, inicialmente sólidas, absorben este calor y en consecuencia se tornan líquidas. Considerando que tal calor aumenta exponencialmente con el tiempo (situación más desfavorable) se plantean diversos flujos que son característicos de frutas y hortalizas. Los resultados obtenidos muestran que estas sustancias son capaces de absorber el calor de respiración y con ello mantener las condiciones requeridas para el almacenamiento de productos agrícolas.

**Palabras claves:** sustancias de cambio de fase, tasa de respiración, productos agrícolas.

### **1. Introducción**

Los materiales de cambio de fase han sido utilizados como colectores acumuladores de calor y reguladores de la temperatura de recintos para distintos fines. (Farid, 2004) Entre ellos, las sustancias orgánicas, por sus propiedades térmicas, químicas y físicas resultan apropiadas para estos fines. En efecto, muchas de ellas, tales como los ácidos grasos y sus ésteres no presentan problemas de sub-enfriamiento, son estables, tienen una densidad relativamente baja ( $\rho \approx 800 \text{ kg/m}^3$ ) siendo la diferencia entre la del sólido y del líquido, pequeña ( $< 5\%$ ), tienen un calor latente de fusión alto ( $L \approx 120 \text{ kJ/kg}$ ), un calor específico relativamente alto ( $c \approx 1600 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$ ) y una conductividad térmica moderada. ( $k \approx 0.2 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ) (Grodzka, 1980; Swern, 1964), no presentan peligro de sobre calentamiento al fundirse pues el proceso es rápido en el punto normal. Por estas características, se ha pensado en su utilización para el acondicionamiento térmico de recintos destinados al almacenamiento de productos agrícolas. (Boucíguez *et al.*, 2001; 2002)

Los productos agrícolas, al mantener activo su metabolismo, respiran y transpiran emanando un cierto calor, denominado tasa de respiración, que si no es convenientemente evacuado lleva al deterioro del producto. (Murray *et al.*, 2000; Llanos, 2003) Generalmente se usan cámaras frigoríficas durante el almacenamiento y transporte consumiendo energía convencional y aumentando los costos, ocasionando a veces daños por frío, al bajar la temperatura más allá de los límites requeridos para la correcta conservación del producto. Se pueden atenuar o evitar algunos de estos problemas utilizando sustancias de cambio de fase para controlar la acumulación de calor y las temperaturas en algunas etapas de su almacenamiento y transporte. De esta forma se limitará el uso de máquinas frigoríficas a la estrictamente necesaria, con el consecuente ahorro de energía convencional.

Antes de cerrar el recinto con el producto agrícola y la sustancia de cambio de fase, estos deberían ser enfriados a la temperatura mínima de conservación del producto que debiera coincidir con la temperatura de fusión de la sustancia de cambio de fase o ser inferior a ella. Es necesaria la presencia de sustancia en estado sólido para que ésta actúe con su máxima capacidad de acumulación de calor.

Además del tiempo máximo de almacenamiento del producto sin necesidad de una nueva refrigeración, las dimensiones y el diseño del recinto para la conservación del producto, requieren tener en cuenta entre otras, las siguientes cuestiones

1. La evolución de la temperatura en el borde de la sustancia de cambio de fase, que se encuentra en contacto con el producto agrícola, debe mantenerse en el rango de las temperaturas de conservación del producto.
2. La evolución de la frontera, que determinará, junto con el área de transferencia necesaria, la cantidad de sustancia de cambio de fase y la forma de su contenedor, que además debe ser impermeable a la sustancia de cambio de fase.

Un esquema del recinto y del material de cambio de fase, se muestra en la Fig. (1), sin que ésta sea la única posibilidad de diseño, pudiendo variar por ejemplo la geometría y la distribución del material de cambio de fase, en relación con la disposición del producto agrícola. En esta disposición, las paredes verticales contendrán el material de cambio de fase (señaladas en amarillo) mientras que las superior e inferior podrán contener material de cambio de fase o estar aisladas, de acuerdo a las características de producto agrícola, la forma de almacenamiento y estiba, así como del tiempo requerido para su conservación. Las flechas indican el ingreso de calor desde el producto a la sustancia de cambio de fase. Las dimensiones del material de cambio de fase serán pequeñas, no superiores a los 10 cm a los efectos de no restar lugar de almacenaje del producto y con ello aumentar costos. Más adelante se verá que estas dimensiones son apropiadas para los fines propuestos. Asimismo, la pared que contiene la sustancia de cambio de fase podrá estar aislada del exterior.

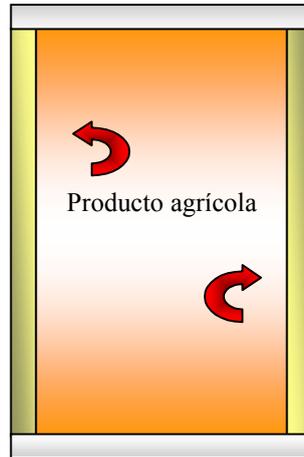


Figura 1: Esquema del recinto que contiene el producto agrícola con el material de cambio de fase.

La mayor parte de las frutas y hortalizas deben mantenerse en temperaturas que oscilan entre los 0 y los 20°C, mientras que su tasa de respiración se encuentra entre los 400 y los 32500J/kg día, lo que equivale a 0.0046 y 0.376W/kg, respectivamente; por lo que 100kg de producto generan un calor entre 0.46 y 37.6W.

La tasa de respiración hace inviable la conservación de un producto en un recinto con paredes meramente aislantes. Por ejemplo, 50kg de un producto con una tasa de respiración de 400J/kg día que ocupan el 60% de un recinto completamente aislado de 1m<sup>3</sup> generan en un día calor suficiente para elevar la temperatura del recinto 50°C, por lo que es imperioso contar con algún mecanismo para la evacuación del calor generado.

En este trabajo se presenta el caso en que la sustancia de cambio de fase se encuentre sólida a la temperatura de fusión y deba absorber un flujo de calor de tipo exponencial  $q=q_0 \exp(at)$ , donde  $q_0$  es un flujo de calor,  $a$  la constante de tiempo y  $t$  el tiempo transcurrido en segundos. (ver Ec. (10)) Este tipo de flujo da lugar, bajo ciertas condiciones, a un crecimiento lineal de la frontera y exponencial de la temperatura en el borde fijo, estando la velocidad de la frontera y la constante de tiempo de la temperatura relacionadas con los coeficientes  $q_0$  y  $a$ , los que a su vez se relacionan con los parámetros térmicos de la sustancia de cambio de fase. Se analiza el comportamiento de la sustancia de cambio de fase frente a flujos de calor de este tipo. Se han considerado diversas alternativas de flujo, sea variando  $q_0$  para el mismo  $a$  y variando  $a$  para el mismo  $q_0$ .

## 2. Descripción matemática del problema

La sustancia de cambio de fase, inicialmente sólida a la temperatura de fusión, tiene un espesor  $e$ . El borde fijo ( $x=0$ ), recibe un flujo de calor y como consecuencia comienza a licuarse, tal como se esquematiza en la Fig. (2). Aparece entonces la fase líquida cuyo perfil de temperaturas  $T(x,t)$  debe determinarse, así como la posición de la frontera,  $s(t)$  que la separa de la fase sólida ya existente. La fase líquida ocupa la región comprendida entre  $x=0$  y  $x=s(t)$ , la sólida, que permanece a la temperatura de fusión, la región comprendida entre  $x=s(t)$  y  $x=e$ .

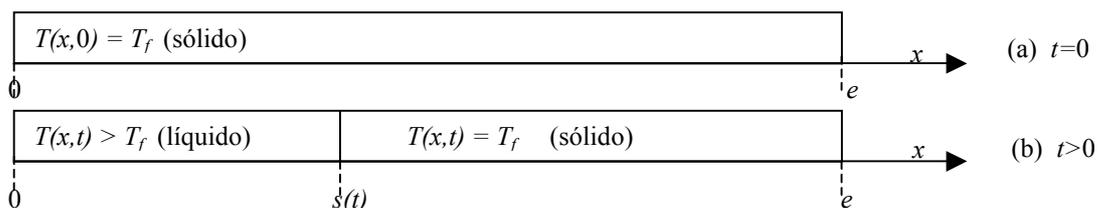


Figura 2: Sustancia de cambio de fase (a) en  $t=0$ , (b) en  $t>0$

A los efectos de simplificar las ecuaciones que gobiernan el proceso, es común expresarlas las temperaturas con respecto a la de fusión, tal como se expresa en la Ec. (1)

$$u(x,t) = T(x,t) - T_f \quad \forall x > 0 \quad \forall t > 0 \quad (1)$$

Entonces, las ecuaciones que gobiernan el proceso son:

$$\frac{\partial u(x,t)}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial x^2} \quad t > 0 \quad 0 < x < s(t) \leq e \quad (2)$$

$$\rho L \frac{ds(t)}{dt} = -k \frac{\partial u(x=s(t),t)}{\partial x} \quad \forall t > 0 \quad (3)$$

$$u(s(t),t) = 0 \quad \forall t > 0 \quad (4)$$

$$u(x,0) = 0 \quad 0 < x \leq e \quad (5)$$

$$s(0) = 0 \quad (6)$$

$$-ku_x(0,t) = q(t) = q_0 \exp(at) \quad \forall t > 0 \quad q_0 > 0 \quad a > 0 \quad (7)$$

La Ec. (2) es la de conducción de calor en la fase líquida, la Ec. (3) denominada ecuación de Stefan, es el balance de energía en la frontera libre y permite calcular su posición, siendo  $\alpha=k/(\rho c)$  la difusividad térmica,  $L$  el calor latente de fusión,  $k$  la conductividad térmica,  $\rho$  la densidad y  $c$  el calor específico de la fase líquida. La Ec. (4) es la condición de continuidad de temperatura en la interfase. Las Ecs. (5) y (6) son las condiciones iniciales para la temperatura y la posición de la frontera, respectivamente y la Ec. (7) es la condición de borde en el extremo que recibe calor.

Este problema, conocido como de Stefan a una fase, es no lineal y tiene solución exacta solo para determinadas condiciones iniciales y de contorno, cuya resolución analítica se obtiene utilizando el método de la variable de semejanza. (Alexiades y Solomon, 1993) Por esto, resulta de gran interés el desarrollo de métodos numéricos, los que deberán ser refrendados por comparación con los resultados de la solución analítica, cuando las condiciones iniciales y de borde impuestas sean las que permiten obtener tal solución. (Lozano *et al.*, 2003; Boucíguez *et al.*, 2005)

### 3. Resolución numérica

La evaluación numérica del problema se ha realizado mediante un esquema en diferencias finitas implícitas que sigue un modelo planteado por Nochetto (1984) para la evolución de la frontera y el cálculo de las temperaturas. Este esquema es aplicable solo si el problema es a una fase y si la frontera presenta cierta regularidad, en particular debe ser creciente, condiciones que se cumplen en este caso. El programa, realizado en lenguaje *Mathematica*, permite evaluar rápidamente la posición de la interfase y el perfil de temperaturas de la sustancia de cambio de fase en función del tiempo, pues posee rutinas y subrutinas implementadas que facilitan el cálculo numérico. (Wolfram, 1999)

Desde el punto de vista matemático puede demostrarse que, en determinadas situaciones, un flujo exponencial creciente da lugar a una solución exacta, donde la frontera crece linealmente con velocidad constante y las temperaturas en el interior de la sustancia de cambio de fase, responden también a una expresión exponencial. (Villa, 1984, Boucíguez *et al.*, 2005) Las expresiones para la posición de la frontera y la distribución de temperaturas están dadas por:

$$s(t) = mt \quad \text{con} \quad m = cte \quad \forall t > 0 \quad (8)$$

$$u(x,t) = \frac{L}{c} \left\{ \exp \left[ \frac{m}{\alpha} (mt - x) \right] - 1 \right\} \quad 0 < x < s(t) \leq e \quad \forall t > 0 \quad (9)$$

Para que esto ocurra el flujo exponencial debe ser tal que:

$$q(t) = q_0 \exp(at) \quad a = \frac{m^2}{\alpha} \quad q_0 = m\rho L \quad (10)$$

Estas expresiones son sumamente útiles a los efectos de validar el modelo de simulación numérica. Para el cálculo se ha considerado los parámetros térmicos típicos de una grasa orgánica. Estos son:  $\rho = 800 \text{ Kg/m}^3$ ,  $k=0.22 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$ ,  $c=1600 \text{ J/kg } ^\circ\text{C}$ ,  $\alpha=1.72 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{seg}$  y  $L=120 \text{ kJ/kg}$ . (Swern, 1964)

Para resolver numéricamente el problema, las ecuaciones deben ser convenientemente discretizadas; en particular, la Ec. (3) siguiendo el esquema de Nochetto, es equivalente a la siguiente condición integral:

$$\frac{s^2(t)}{2} = -\frac{k}{\rho L} \int_0^t f(v)dv + \frac{c}{L} \int_0^s z \cdot u(z,t)dz \tag{11}$$

Esta ecuación se evalúa utilizando un esquema en diferencias finitas implícitas, que mediante un proceso iterativo, permite resolver el problema con gran exactitud (Lozano *et al.*, 2003)

Es de hacer notar que el flujo en todas las ecuaciones debe ser expresado por unidad de área, por lo que se ha trabajado con valores de  $q_0$  desde 10 hasta  $50 \text{ W/m}^2$ , lo que a los fines de evaluar el comportamiento de la sustancia de cambio de fase como moderadora de temperatura la pone en una situación más desfavorable que la planteada en el sección 1, dado que los 100kg de producto agrícola que emanan estos flujos deben estar contenidos en recintos cuyas paredes tengan una superficie lateral de  $1 \text{ m}^2$ , situación que en la práctica no será tal, ya que los recintos destinadas a tales fines son por lo general, locales de  $1.8 \times 1.2 \text{ m}^2$ , por lo que el flujo que debe absorber el material de cambio de fase será considerablemente menor, aún en el caso que se trate de contenedores o camiones destinados al transporte.

Como ya se ha dicho, para que la frontera crezca linealmente debe existir una determinada relación entre los valores de  $q_0$  y  $a$ . A los fines de cubrir distintas posibilidades, se ha trabajado con  $q_0=10 \text{ W/m}^2$  y el correspondiente valor de  $a$  ( $6.31 \cdot 10^{-8} \text{ seg}^{-1}$ ); el que da un incremento lineal de la frontera y exponencial de la temperatura. Tomando éste como base, se ha aumentado el valor de  $q_0$  de 10 en 10 hasta alcanzar el valor de  $50 \text{ W/m}^2$ , para el mismo  $a$ ; como cota superior de comparación se ha evaluado también el caso en que el valor de  $a$  sea el correspondiente a este último valor de  $q_0$ , para que produzca un crecimiento lineal de la frontera. ( $q_0=50 \text{ W/m}^2$ ,  $a=1.5710^{-6} \text{ seg}^{-1}$ ) También se ha evaluado el caso en que el valor de  $q_0$  permanezca en  $10 \text{ W/m}^2$  y se varía  $a$  desde el valor correspondiente ( $6.31 \cdot 10^{-8} \text{ seg}^{-1}$ ) y se va aumentando de 10 en 10 hasta llegar a  $50a$ .

Se ha observado que las tasas de respiración generan un calor cuya variación puede considerarse como una exponencial levemente creciente, con una constante de tiempo baja, tal como la utilizada para el cálculo.

Dadas las dimensiones del recipiente que contiene el material de cambio de fase, puede tratarse el problema en una dimensión. Por otra parte, teniendo en cuenta el espesor y por tratarse de grasas orgánicas viscosas puede desprejiciarse el movimiento en el fluido, por lo que con muy buena aproximación la transferencia de calor puede considerarse como conductiva, tal como lo expresan las ecuaciones que describen matemáticamente el problema.

#### 4. Resultados obtenidos

Cuando se toma el valor de  $q_0=10 \text{ W/m}^2$  con su correspondiente  $a=6.31 \cdot 10^{-8} \text{ seg}^{-1}$  y se aumenta este valor de 10 en 10 para el mismo  $q_0$  se obtiene las posiciones de la frontera libre y la temperatura en el borde en contacto con el producto agrícola, mostradas en las Figs. (3) y (4) respectivamente.

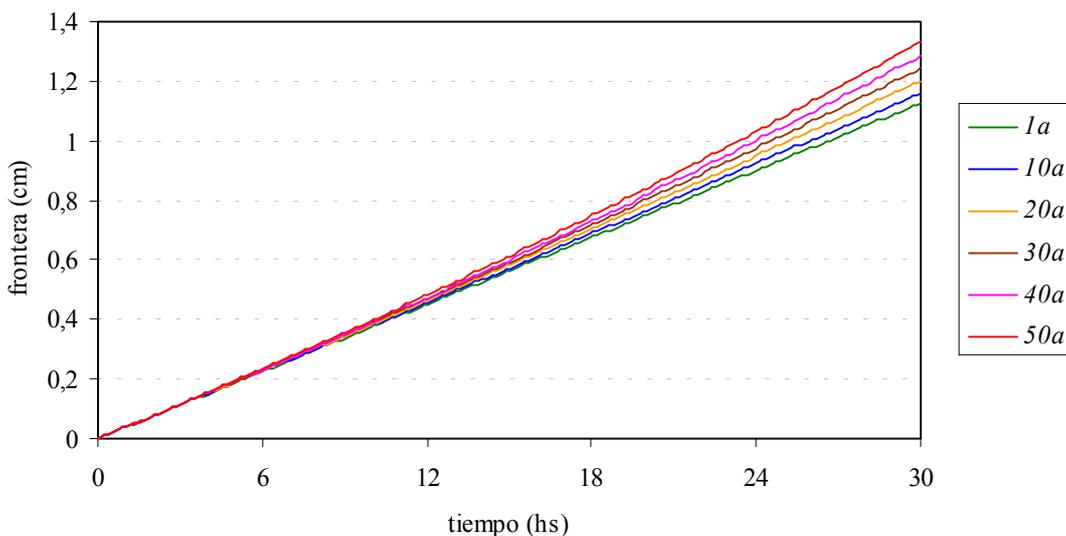


Figura 3: Posiciones de la frontera libre para  $q_0=10 \text{ W/m}^2$  y distintos valores de  $a$

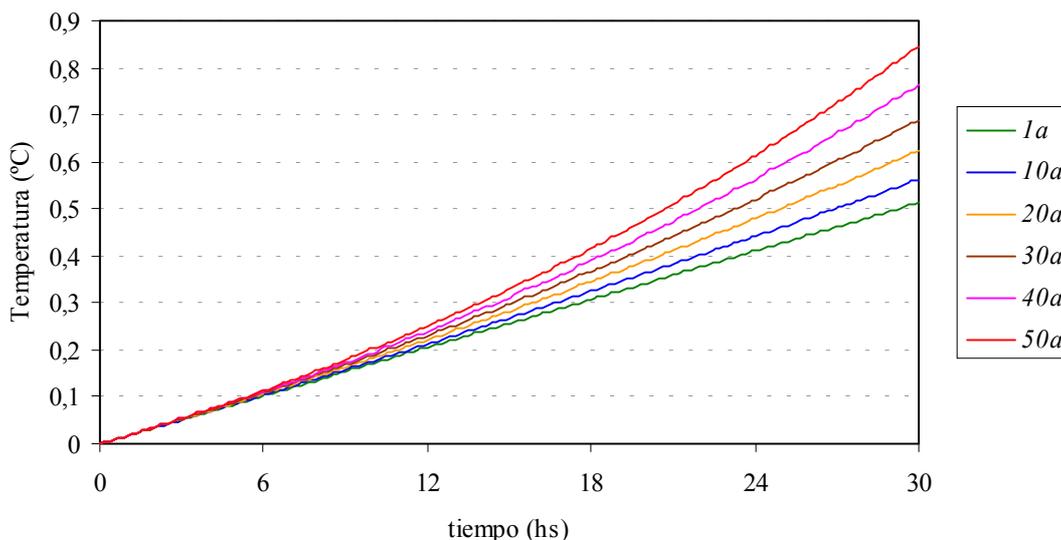


Figura 4: Temperaturas para  $q_0=10\text{W/m}^2$  y distintos valores de  $a$

En las Figs. (5) y (6) se muestran respectivamente las posiciones de la frontera libre y la temperatura en el borde en contacto con el producto agrícola, para el caso en que el valor de  $a=6.31 \cdot 10^{-8}\text{seg}^{-1}$  se mantiene fijo y se varía  $q_0$  desde  $10\text{W/m}^2$  a  $50\text{W/m}^2$ , se ha representado también para este último flujo los resultados para el valor de  $a$  correspondiente, esto es  $a=1.57 \cdot 10^{-6}\text{seg}^{-1}$ , a los efectos de contar con una cota superior, más elevada para los flujos de calor. En estas gráficas se ha señalado con F1 el flujo correspondiente a  $q_0=10\text{W/m}^2$  y  $a=6.31 \cdot 10^{-8}\text{seg}^{-1}$ , con F2, F3, F4 y F5 a los flujos con el mismo valor de  $a$  y  $q_0=20, 30, 40$  y  $50\text{W/m}^2$  respectivamente; por último F6 representa el flujo  $q_0=50\text{W/m}^2$  y  $a=1.57 \cdot 10^{-6}\text{seg}^{-1}$ .

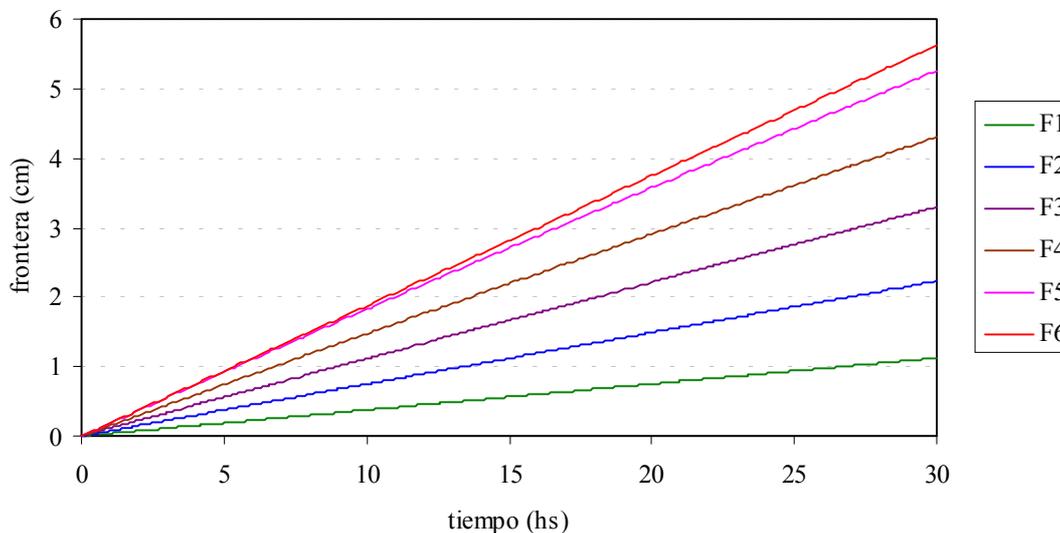


Figura 5: Posiciones de la frontera libre para distintos flujos

En todos los gráficos, se ha expresado el tiempo en horas, a los efectos de dar una mayor claridad y mejor comprensión del fenómeno, mientras que la posición de la interfase se ha expresado en centímetros, también por razones de claridad.

Es importante observar que, en todos los casos, las temperaturas señaladas en las figuras corresponden a la diferencia entre la temperatura real alcanzada por la sustancias de cambio de fase y su temperatura de fusión, es decir  $u(x,t)$ . Por lo tanto, en las Figs. (4) y (6) el eje de las ordenadas, (denominado Temperatura), representa tal diferencia en  $x=0$ , es decir  $u(0,t)$ .

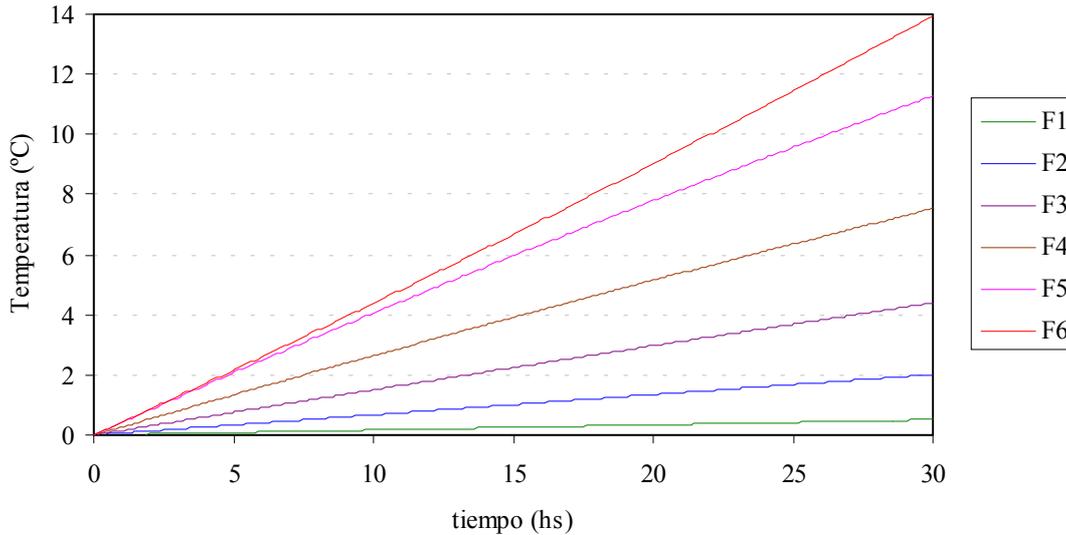


Figura 6: Temperaturas para distintos flujos.

### 5. Análisis de resultados

Las figuras mostradas en la sección anterior dejan ver claramente la influencia de ambos parámetros ( $q_0$  y  $a$ ) en la posición de la frontera y la temperatura alcanzada en el lateral que recibe el flujo de calor, que es precisamente el que está en contacto con el producto agrícola. En todos los casos se ha considerado un tiempo de cálculo de 30 horas, ya que por tratarse de productos frescos, éstos deben estar prácticamente en condiciones de ser consumidos. En la situación del mayor flujo analizado, ( $q_0=50\text{W/m}^2$  y  $a=1.57 \cdot 10^{-6}\text{seg}^{-1}$ ) la frontera avanza menos de 6cm, por lo que la elección de 10cm de espesor es aceptable. Sin embargo, en esta situación la temperatura en el borde se ha incrementado  $14^\circ\text{C}$  por encima de la de fusión de la sustancia de cambio de fase, lo que puede ser nocivo para algunos productos agrícolas.

Para los casos en que el valor de  $q_0$  es de  $10\text{W/m}^2$  y se varía el parámetro  $a$ , de las Figs. (3) y (4) se observa que la frontera avanza muy lentamente, llegando a valores menores de 1.4 cm al cabo de 30 horas, mientras que la temperatura en el borde ha ascendido menos de  $1^\circ\text{C}$ , por encima de la de fusión, por lo que esta situación es muy adecuada para la conservación de los productos agrícolas, pudiéndose extender el período de almacenamiento sin mayores riesgos.

Por otra parte, en el caso en que se varíe  $q_0$  para el menor valor de  $a$  ( $6.31 \cdot 10^{-8}\text{seg}^{-1}$ ) la frontera apenas pasa los 5cm, para  $q_0=50\text{W/m}^2$  (Fig. 5) mientras que, la temperatura en la pared alcanza valores menores de  $1^\circ\text{C}$  hasta casi los  $12^\circ\text{C}$ , (Fig. 6) situación sólo superada por el flujo con  $q_0=50\text{W/m}^2$  y  $a=1.57 \cdot 10^{-6}\text{seg}^{-1}$ . En las tablas 1 y 2, se resumen los resultados obtenidos para los distintos casos analizados. En ellas,  $a_{10}$  corresponde al valor de  $a$  que produce un crecimiento lineal de la frontera cuando  $q_0=10\text{W/m}^2$ , esto es  $a=6.31 \cdot 10^{-8}\text{seg}^{-1}$ , mientras que  $10a_{10}$ ,  $20a_{10}$ , etc representan este valor multiplicado por 10, 20, etc respectivamente; con el mismo criterio  $a_{50}$  corresponde al valor de  $a$  que da un crecimiento lineal de la frontera cuando  $q_0=50\text{W/m}^2$ , esto es  $a=1.57 \cdot 10^{-6}\text{seg}^{-1}$ .

Tabla 1: Posición de la interfase y temperaturas al cabo de 30 horas, para diferentes valores de  $q_0$

	$q_0=10\text{W/m}^2$	$q_0=20\text{W/m}^2$	$q_0=30\text{W/m}^2$	$q_0=40\text{W/m}^2$	$q_0=50\text{W/m}^2$	$q_0=50\text{W/m}^2$
	$a_{10}$	$a_{10}$	$a_{10}$	$a_{10}$	$a_{10}$	$a_{50}$
$s$ ( $t=30\text{hs}$ ) (cm)	1.12	2.23	3.30	4.30	5.26	5.62
$u$ ( $x=0, t=30\text{hs}$ ) ( $^\circ\text{C}$ )	0.5	2.0	4.4	7.5	11.3	14.0

Tabla 2: Posición de la interfase y temperaturas al cabo de 30 horas, para diferentes valores de  $a$

	$q_0=10\text{W/m}^2$	$q_0=10\text{W/m}^2$	$q_0=10\text{W/m}^2$	$q_0=10\text{W/m}^2$	$q_0=10\text{W/m}^2$	$q_0=10\text{W/m}^2$
	$a_{10}$	$10a_{10}$	$20a_{10}$	$30a_{10}$	$40a_{10}$	$50a_{10}$
$s$ ( $t=30\text{hs}$ ) (cm)	1.12	1.16	1.20	1.24	1.28	1.33
$u$ ( $x=0, t=30\text{hs}$ ) ( $^\circ\text{C}$ )	0.5	0.56	0.62	0.68	0.76	0.85

## 6. Conclusiones

Los flujos analizados cubren ampliamente el calor generado por respiración de los productos agrícolas, dado que si 100kg generan entre 10 y 40W, al almacenarlos en un recinto de  $1.8 \times 1.2\text{m}^2$ , el flujo por unidad de área se encuentra entre 4 y  $18\text{W/m}^2$  por lo que los cálculos realizados son representativos del problema en estudio.

De los resultados obtenidos se observa que con los flujos analizados las sustancias de cambio de fase pueden utilizarse como moderadoras de temperaturas de los productos agrícolas y que son capaces de absorber el calor de respiración por ellos generado, aún en las condiciones más desfavorables de flujos relativamente altos.

Es de destacar también que en los casos presentados en el cálculo, la sustancia de cambio de fase se encuentra inicialmente a la temperatura de fusión, que es la situación más desfavorable ya que si el estado inicial es sólido a temperatura menor a la de fusión podría extenderse el período de almacenamiento.

La condición inicial de temperatura debe ser analizada en función de la energía adicional que sea necesaria para enfriar la sustancia de cambio de fase y el producto agrícola; si éstas fueran mayores o iguales a  $10^\circ\text{C}$ , el costo sería mínimo, mientras que si fueran inferiores a este valor, los costos podrían incrementarse de acuerdo a las condiciones climáticas de la región donde sea utilizado. Por otra parte, el precio de las grasas orgánicas, aunque fluctúa, es relativamente accesible en el país, sobre todo las derivadas de grasas animales.

Por tanto, las sustancias orgánicas que presenta cambio de fase en el rango entre  $0$  y  $20^\circ\text{C}$ , pueden ser utilizadas para los fines propuestos y constituyen una alternativa interesante para sustituir o disminuir el consumo de energía proveniente de fuentes tradicionales.

## 7. Referencias

- Alexiades, V.; Solomon, A., 1993, "Mathematical Modeling of Melting or Freezing Processes", Hemisphere Publishing Corporation, A Member of the Taylor & Francis Group.
- Boucíguez, A Villa, L y Lara, M., 2001, "Análisis de Sustancias de Cambio de Fase para su Utilización en el Envasado y Transporte de Productos Alimenticios", VI Congreso Iberoamericano de Aire Acondicionado y Refrigeración (CIAR 2001). Buenos Aires, Argentina, pp. 640 - 648.
- Boucíguez, A Villa, L. Esteban, S y Lara, M., 2002, "Una Propuesta de Acondicionamiento Térmico Utilizando Sustancias de Cambio de Fase", 9º Brazilian Congress of Engineering and Thermal Sciences. (ENCIT 2002), Caxambú, Minas Gerais, Brasil, CIT02-0757.
- Boucíguez, A; Lozano, R y Lara, M., 2005, "Problema de Frontera Móvil para Flujo de Calor de Tipo Exponencial", Energías Renovables y Medio Ambiente, Revista de la Asociación Argentina de Energía Solar. Buenos Aires, Argentina. Vol. 16, pp. 55 - 59.
- Grodzka, F., 1980, "Phase Change Storage Systems", Cap. 25. Solar Energy Technology Handbook. Part A. Engineering Fundamentals. Edited by W. Dickinson and P. Cheremisinoff.
- Farid, M; Khudhair, A; Razack, S; Al-Hallaj, S., 2004, "A Review on Phase Change Energy Storage: Materials and Applications", Energy Conversion and Management 45, pp. 1597 – 1615.
- Llanos, M., 2003 "Prevención y Control de Postcosecha", Vida Rural Nº 91. Eumedia, España.
- Lozano, R. Boucíguez, A. Hoyos, E. González, J. Ovejero, M y Villa, L., 2003, "Métodos Numéricos para la Resolución del Problema de Stefan con Condición de Flujo de Calor en el Borde Fijo", Comunicación a la XXVI Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente (ASADES) Formosa, Argentina, Vol. 7, pp. 08.05 – 08.06.
- Murray, R. Budde, C y Lucangeli, C., 2000 "Los Secretos del Buen Frío", Revista Super Campo, Año VII Nº 74, pp.22 – 25.
- Nochetto, R., 1984, "Una Introducción General a la Resolución Numérica del Problema de Stefan Unidimensional", Cuadernos del Instituto de Matemática Beppo Levi. Universidad Nacional de Rosario, pp. 143 – 166.
- Swern, D., 1964 "Bailey's Industrial Oil and Fat Products", Interscience Publishers, a division of John Wiley & Sons. New York.
- Villa, L., 1984, "El Problema Inverso de Stefan", Cuadernos del Instituto de Matemática Beppo Levi. Universidad Nacional de Rosario, pp. 105 – 132.
- Wolfram, S., 1999, "The Mathematica ® Book", Wolfram Medio, Cambridge University Press, 4<sup>th</sup> Edition.

## 8. Copyright Notice

Los autores son los únicos responsables del material impreso incluido en este trabajo.

## **AN ENERGY SAVING PROPOSAL USING ORGANIC SUBSTANCES WITH PHASE CHANGE AT AMBIENT TEMPERATURE.**

### **Boucíguez, Angélica**

Facultad de Ciencias Exactas. Universidad Nacional de Salta. Av. Bolivia 5150, Salta – Argentina.  
e-mail: bouciga@unsa.edu.ar

### **Lozano, Ricardo**

Facultad de Ciencias Exactas. Universidad Nacional de Salta. Av. Bolivia 5150, Salta – Argentina.  
e-mail: lozanor@unsa.edu.ar

### **Lara, Miguel Angel**

Facultad de Cs. Agrarias. IFIR (UNR - CONICET). Universidad Nacional de Rosario. Pellegrini 250. Rosario - Argentina.  
e-mail: malara@fceia.unr.edu.ar.

***Abstract.** The use of organic substances with melting point less than 20 °C for absorbing the respiration tax of agricultural products is proposed here. These substances are stable, have adequate thermal parameters for that purpose and do not have sub-cooling problems. A numerical simulation model allows the study of the performance of these substances when the solid phase is the initial condition. As they absorb that heat, the liquid phase appears. The case where the heat flux grows exponentially with time (the worst condition) for typical values of respiration tax is studied. The results show that these substances are adequate for conserving the agricultural products for a certain period of time*

***Keywords.** Phase change materials, respiration tax, agricultural products*