

GRASAS ORGANICAS COMO ACONDICIONANTE TERMICO PARA FRUTAS Y HORTALIZAS.

José González¹, Angélica Boucíguez¹, Miguel A. Lara^{2*}

Facultad de Ciencias Exactas – Universidad Nacional de Salta - Av. Bolivia 5150 – 4400 – Salta

Tel: 0387 – 4255424 – Fax: 0387 – 4255589 - e-mail: gonzalezj@inenco.net - bouciga@unsa.edu.ar

²Instituto de Física Rosario (IFIR – UNR – CONICET) Facultad de Ciencias Agrarias. (UNR). Av. Pellegrini 250, Rosario.

Tel. 0341-495467 int. 33, – Fax 0261-4287370 – e-mail: malara@fceia.unr.edu.ar

RESUMEN: Se propone la utilización de grasas orgánicas con cambio de fase para el acondicionamiento térmico durante el almacenamiento y transporte de productos frutihortícolas colocadas en el interior de paredes que forman parte del recinto en donde se encuentran tales productos. Debido a que los contenedores tienen un espesor finito se evalúa mediante un modelo de simulación numérica el avance de la frontera libre y los gradientes de temperatura en el espacio ocupado por la sustancia de cambio de fase. El estado inicial es sustancia sólida a temperatura menor que la de fusión, por lo que se trata de un problema de Stefan a dos fases. Los resultados muestran que estos materiales son capaces de moderar la temperatura a la que pueden estar expuestos los productos agrícolas, bajo ciertas condiciones de operatividad.

Palabras claves: grasas orgánicas, sustancia de cambio de fase, modelo finito, problema de Stefan, productos agrícolas.

INTRODUCCION

Cuando se piensa en la conservación de los alimentos, rápidamente se asocia este trabajo a la conservación por medio de refrigeraciones mecánicas o eléctricas. Para conservar la calidad inicial del producto resulta imprescindible centrar la atención en el control de temperatura hasta que el mismo llega al mercado. (Pantásico, 1979). Se pretende mostrar que esto puede lograrse utilizando otras alternativas que permitan un ahorro energético y eviten bajar innecesariamente la temperatura del producto.

Una vez que las frutas y hortalizas son extraídas de la planta, continúan el proceso de maduración: respiran y transpiran siguiendo con su proceso natural de crecimiento (tasa de respiración). Si esta respiración y transpiración no se *controlan* oportunamente, la vida metabólica de ellas se mantiene a pleno régimen y se produce un aumento de la temperatura en sus tejidos (maduración), generando su paso a la senescencia (descomposición del producto). Por tanto las condiciones ideales para la conservación del producto, una vez cosechados, serán aquellas que permitan el control de la tasa de respiración y transpiración.

Los cambios producidos a consecuencia de la extracción de la fruta u hortaliza de la planta son dependientes de la temperatura. Si son elevadas, aparecen hongos y bacterias; si por el contrario son bajas disminuyen el desarrollo de microorganismos esporas, pero se puede ocasionar daño por frío. (Murray et al, 2000) Esto pone de manifiesto que tales productos deben mantenerse dentro de ciertas condiciones de temperatura durante su estiba y transporte para que puedan llegar al consumidor en un buen grado de calidad.

En la Tabla 1 se presenta la tasa de respiración y la temperatura óptima a la que deben mantenerse algunos productos agrícolas. El flujo de calor considerado esta acorde a la cantidad que podría almacenarse en un recipiente de ciertas dimensiones. (<http://www.postharvest.ucdavis.edu>)

producto frutihortícola	tasa de respiración [W/kg]	rango de temperatura [°C]	cantidad a almacenar [kg]	flujo de calor generado [W/m ²]
Banana	0.064-0.137	13 a 14	3200	27
Berenjenas	0.113-0.167	10 a 12	2300	15
Cítricos	0.0106 – 0.0901	3 a 9	3400	4.5
Durazno	0.010 – 0.02915	0 a 20	6680	12
Lechuga	0.0159 – 0.159	0	560	5.5
Limón	0.0265 – 0.0742	13 a 15.5	3500	20
Mango	0.082-0.162	10 a 20	8000	80
Papa	0.0318 – 0.1219	5 a 20	2500	20
Pimiento	0.0159 – 0.106	5 a 20	1800	12
Tomates	0.0159 – 0.1378	13 a 21	3700	32
Zanahoria	0.010	0 a 20	34600	20

Tabla 1: Tasa de respiración y temperaturas de algunos productos frutihortícolas.

* Investigador del CONICET

De esta tabla se puede obtener entonces una estimación del flujo de calor generado por el producto que se desea acondicionar, teniendo en cuenta su temperatura óptima, su tasa de respiración y la cantidad almacenada. El control de temperaturas y por tanto el acondicionamiento térmico del producto agrícola se realiza utilizando sustancias de cambio de fase, envasadas en recipientes que se adosan a las paredes del recinto donde se almacena el producto agrícola y se colocan en su interior. (Boucigüez, 2001) La sustancia de cambio de fase cumplirá esencialmente una función de control de temperaturas para mantener el producto en sus condiciones adecuadas.

En la Figura 1 se muestra un esquema ilustrativo de la ubicación de la sustancia de cambio de fase junto al producto que se desea controlar. En ella, se señalan también las condiciones ambientales externas y el flujo de calor emanado del fruto, consecuencia de su tasa respiratoria. Las condiciones de temperatura con las cuales se realiza la simulación serán independientes de la cantidad de producto, puesto que ésta es una condición que depende solo de factores atmosféricos.

Tal como se observa en la Figura 1, el recipiente está formado por cuatro paredes dobles (en la figura se muestran un corte transversal en perspectiva) con un espesor no superior a 20 cm, lo que sumado al tipo de sustancia hace que el problema puede tratarse en forma unidimensional. La situación analizada contempla un estado inicial sólido del material de cambio de fase a una temperatura por debajo de la de fusión. Así, a medida que transcurre el tiempo la sustancia se va tornando líquida por ambos laterales y las interfaces de separación se moverán desde cada borde hacia el interior.

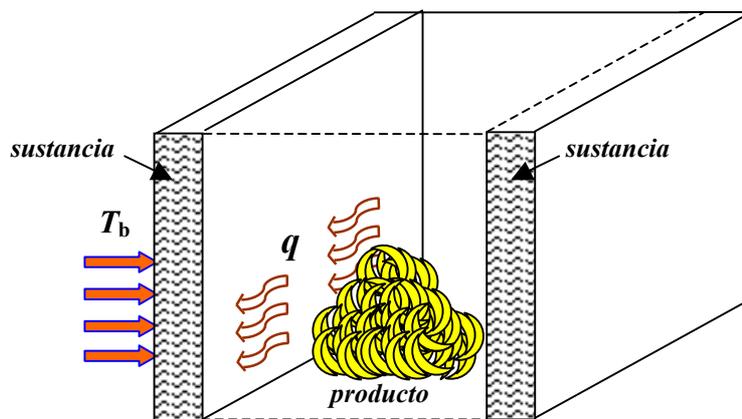


Figura 1: Esquema del recipiente que contiene al producto y la sustancia de cambio de fase.

La elección del producto que se desea acondicionar térmicamente condiciona la elección de la sustancia de cambio de fase, lo que está relacionado con el rango de temperatura al cual se debe conservar el producto. Este rango de temperatura se debe tener bien presente en el acondicionamiento térmico ya que por encima de su cota superior se acelera el proceso de senescencia y por debajo podría producirse daño por frío. Esto no quiere decir que deba utilizarse una sustancia distinta para cada producto sino que dentro de un margen de temperatura se pueden utilizar una u otra sustancia de cambio de fase.

En la Figura 2 se presenta un esquema ilustrativo de la característica principal que se debe tener en cuenta en cada paso del proceso de acondicionamiento térmico del producto.

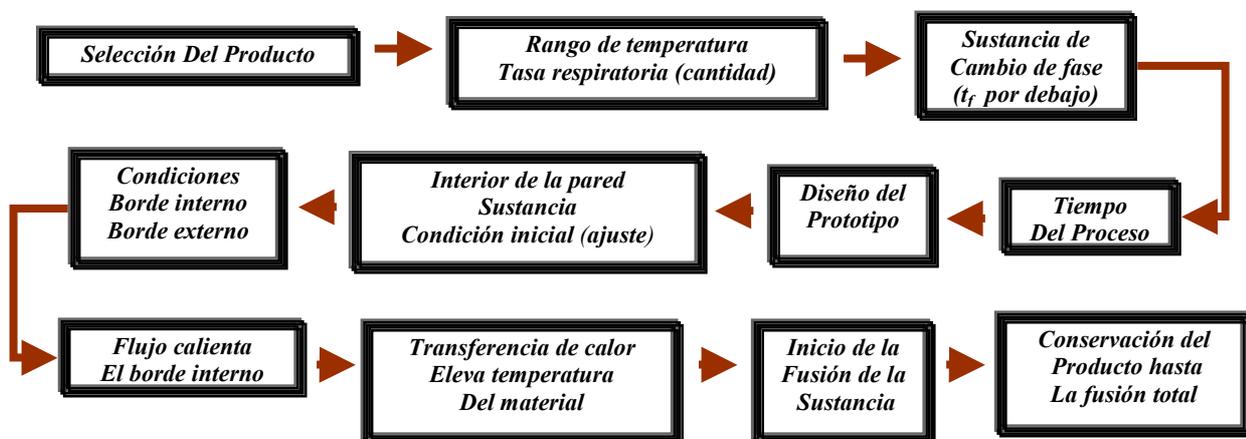


Figura 2: Esquema del recipiente que contiene al producto y la sustancia de cambio de fase.

PLANTEO DEL PROBLEMA

El problema de Stefan (Alexiades y Solomon, 1993) a dos fases se denomina así, porque en las dos fases presentes existe un gradiente de temperatura, esta situación tiene lugar cuando la condición inicial es sustancia sólida (líquida) a temperatura menor (mayor) que la de fusión. Por ello, es necesario calcular la distribución de temperatura en cada una de las fases, las que se encuentran relacionadas por la ecuación de Stefan que presenta el balance de energía en la interfase. En este caso se ha considerado que la sustancia se encuentra inicialmente sólida a temperatura menor a la de fusión. El problema queda completamente descrito por las siguientes ecuaciones:

$$\frac{\partial T^L}{\partial t} = \alpha^L \frac{\partial^2 T^L}{\partial x^2}, \quad 0 < t < \tau, \quad 0 < x < s(t) \quad (1)$$

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

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

$$s_1(0) = 0, \quad s_2(0) = e, \quad (4)$$

$$T^S(x,0) = T_0 < T_f, \quad x > 0 \quad (5)$$

$$T^L(s_1(t),t) = T^S(s_2(t),t) = T_f, \quad \forall t > 0 \quad (6)$$

$$T^L(0,t) = T_b > T_f, \quad t > 0 \quad (7)$$

$$-k^L \frac{\partial T^L(e,t)}{\partial x} = q(t), \quad x > 0, \quad \forall t > 0 \quad (8)$$

Donde los supraíndices L y S indican respectivamente líquido y sólido. La $T(x,t)$, función de la variable espacial x y temporal t es la temperatura alcanzada por la sustancia, T_f es la de fusión, e es el espesor del material, $s(t)$ la posición de la frontera que separa el líquido del sólido y es una incógnita adicional del problema. Es de hacer notar que existirán dos fronteras libres, una que avanza desde $x=0$ hacia la derecha producto de la excitación en el lateral izquierdo que en este caso es una temperatura conocida y una segunda que avanza desde $x=e$ hacia la izquierda, en que la excitación es correspondiente a un flujo de calor tal como se muestra en la Figura 3. Ambas interfaces satisfacen la ecuación de Stefan.

Las propiedades termofísicas del material de cambio de fase son: ρ densidad, c capacidad calorífica a presión constante, L calor latente de fusión, k conductividad térmica y $\alpha = k/\rho c$ difusividad térmica. Todas ellas se han considerado constantes en el cálculo. Estos parámetros tienen valores distintos en ambas fases. Debido a que la diferencia de densidades es pequeña, (Swern, 1964) se considera el mismo valor tanto en sólido como en líquido. (Tarzia, 2005).

Los valores de las propiedades térmicas que se toman para estas sustancias corresponden a los valores típicos de las grasas orgánicas, tal como los estearatos. Así se usan los siguientes valores genéricos: $\rho=800 \text{ kg/m}^3$; $L=120000 \text{ J/Kg}$; $k_L=0.220 \text{ W/m}^2\text{C}$; $cp_L=1600 \text{ J/Kg}^\circ\text{C}$; $k_S=0.180 \text{ W/m}^2\text{C}$ y $cp_S=1400 \text{ J/Kg}^\circ\text{C}$. En todos los casos se considera que el fluido (fase líquida) no convecta por las razones ya expuestas. Se destaca que los compuestos orgánicos no presentan alteraciones tras sucesivos ciclos de fusión – solidificación. Cabe aclarar que el modelo de simulación es válido para cualquier sustancia que se elija, con solo considerar los correspondientes parámetros térmicos y la temperatura de fusión.

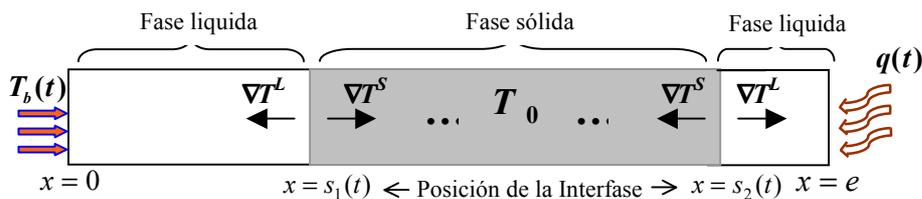


Figura 3: Avance de las dos interfaces en un material finito.

Las ecuaciones (1) y (2) corresponden a las ecuaciones de difusión para ambas fases, la (3) proporciona el balance de energía en la interfase, las ecuaciones (4) y (5) son las condiciones iniciales, mientras que las ecuaciones (6), (7) y (8) son las condiciones de borde, la (6) en la interfase, la (7) en el borde $x=0$ y la (8) en el borde $x=e$.

El planteo del problema en una dimensión es aceptable ya que el espesor de las paredes que contienen el material de cambio de fase es pequeño en comparación con las otras dos dimensiones involucradas, lo que permite considerar que la sustancia no tiene posibilidad de convectar.

En las paredes laterales se presentan dos condiciones de borde en forma simultánea. Una debida a la temperatura exterior y la otra debida al producto almacenado. El hecho de tener la sustancia de cambio de fase, en su proceso de fusión, con una temperatura inicial menor que la de cambio de fase hace que este problema deba analizarse con las dos condiciones de borde en forma simultánea. A su vez es de hacer notar que el gasto energético será mayor que el realizado en un problema a una fase, donde la temperatura inicial coincide con la de fusión. (Bouciguez et al, 2001)

MODELO DE SIMULACIÓN

En trabajos anteriores se han presentado los resultados del estudio de sustancias de cambio de fase para un modelo semi infinito, lo que implica una única condición de borde, esto es una única excitación externa, sea ésta de temperatura o de flujo de calor. (Bouciguez y Villa, 2002). En este estudio, al ser un modelo finito, aparecen dos condiciones de borde simultáneas, una en cada lateral.

Se trabaja con un código de simulación validado con anterioridad (González y Bouciguez, 2004; 2005), el que ha sido la base para el presente planteo. Las condiciones de borde sobre las cuales se trabaja son: un lateral de la pared se expone a un flujo de calor resultante del producto, pudiendo este variar en el tiempo y el otro se encuentra expuesto a la temperatura externa, la cual también puede variar en el tiempo, pero se ha restringido el estudio a que se mantenga siempre por encima de la de fusión del material.

Los valores correspondientes a estas condiciones se presentan en la Tabla 2, donde la variable temporal t está en segundos, la temperatura en $^{\circ}\text{C}$ y el flujo de calor en W/m^2 . Cabe destacar que el del flujo de calor es un valor promedio que se toma de analizar la Tabla 1, teniendo en cuenta el valor de la cota superior (mango) y el valor de la cota inferior (cítricos). Cada caso es una condición de borde simultánea desde cada lateral, que se ha marcado con los subíndices 1 y 2.

CASOS	DOBLE CONDICIÓN EN EL BORDE [$^{\circ}\text{C}$] y [W/m^2]	COMENTARIOS
Caso 1	$T_{b1} = 25$ $q_{b2} = 50$	La temperatura es constante. El flujo es constante.
Caso 2	$T_{b1} = 25$ $q_{b1} = 50 + 10.t$	La temperatura es constante. El flujo asciende a partir de 50°C a razón de $0,4 \text{ W}/\text{m}^2$ hora.
Caso 3	$T_{b2} = t + 25$ $q_{b1} = 50 + 10.t$	La temperatura asciende a partir de 25°C a razón de $0,5 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{hora}$. El flujo asciende a partir de 50°C a razón de $0,4 \text{ W}/\text{m}^2$ hora.
Caso 4	$T_{b2} = t + 25$ $q_{b1} = 80 + 10.t$	La temperatura asciende a partir de 25°C a razón de $0,5 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{hora}$. El flujo asciende a partir de 80°C a razón de $0,4 \text{ W}/\text{m}^2$ hora.

Tabla 2: Diferentes condiciones borde simultáneas en los extremos de la pared.

Todos los casos propuestos en la Tabla 2 fueron simulados teniendo en cuenta dos premisas fundamentales. Por un lado el espesor de la pared donde se deposita la sustancia de cambio de fase y por otro la temperatura inicial de la misma sabiendo que se trabaja con un problema de Stefan a dos fases.

Se consideraron dos espesores distintos: uno de 20 cm y otro de 15 cm. Esta disminución del espesor permite analizar el comportamiento de la sustancia frente a la doble condición impuesta, buscando las condiciones más adecuadas para su implementación, dado que el espesor de la pared determina el volumen final del recipiente e influye en los costos.

Asimismo se consideraron dos calores para la temperatura inicial del material: -2°C y -5°C , a fin de evaluar la influencia de ésta en las condiciones finales de temperatura alcanzada por el material de cambio de fase y la posibilidad de mejorar o no el acondicionamiento o de aumentar el tiempo de almacenamiento.

Ambos factores (espesor de la pared y temperatura inicial del material de cambio de fase) condicionan, entre otros, el tiempo de almacenamiento o transporte del producto, como así también al aspecto económico. Por otra parte, en un problema de dos fases se invierte mayor tiempo en producir la fusión total del material de cambio de fase, debido a que en este proceso se realiza un gasto energético mayor al que se tendría si la sustancia se encuentra inicialmente a la temperatura de cambio de fase. La elección del espesor entre 15 y 20 cm, después de trabajar con otros valores, resulta ser la más adecuada y da un punto de equilibrio entre la necesidad de moderar la temperatura y los aspectos económicos y constructivos. Cabe recordar

que los productos agrícolas, una vez listos para su consumo, no pueden permanecer almacenados durante períodos de tiempo superiores a tres días, por lo que el transporte no debería insumir más de uno.

RESULTADOS OBTENIDOS

En las Figuras (4) a (7) se presentan los resultados obtenidos de acuerdo a las condiciones impuestas para un tiempo total de cálculo de 1 día, por considerar que este período puede ser el requerido para el traslado de productos agrícolas. En ellas, se muestran los resultados para los dos espesores de la pared considerados, esto es 15 y 20 cm. Con $x=0$ se designa la pared expuesta al medio ambiente, con condición de temperatura, constante o variable, mientras que con $x=e$, se denomina la pared en contacto con el producto, donde la condición es un flujo de calor, constante o creciente.

La Figura 4 permite visualizar los avances de las fronteras desde ambos laterales en función del tiempo. Se aprecia que las curvas que las describen son acordes a lo esperado para cada uno de los casos presentes, a mayor energía que llega al lateral, mayor será el avance de la interfase. Dado que desde cada lateral avanza un frente de fusión resulta interesante saber si en el tiempo de cálculo propuesto la sustancia se licua completamente, lo que se evidencia gráficamente si ambas curvas se interceptan o no entre sí. Según muestra la figura para un espesor de 20 cm (parte *a*) ninguno de los casos estudiados llegan a producir una intersección de las curvas provenientes de ambos laterales, por lo que la sustancia no se ha fundido en su totalidad. En cambio cuando el espesor es de 15 cm (parte *b*), esta situación si se observa, lo que es razonable puesto que el espesor es menor.

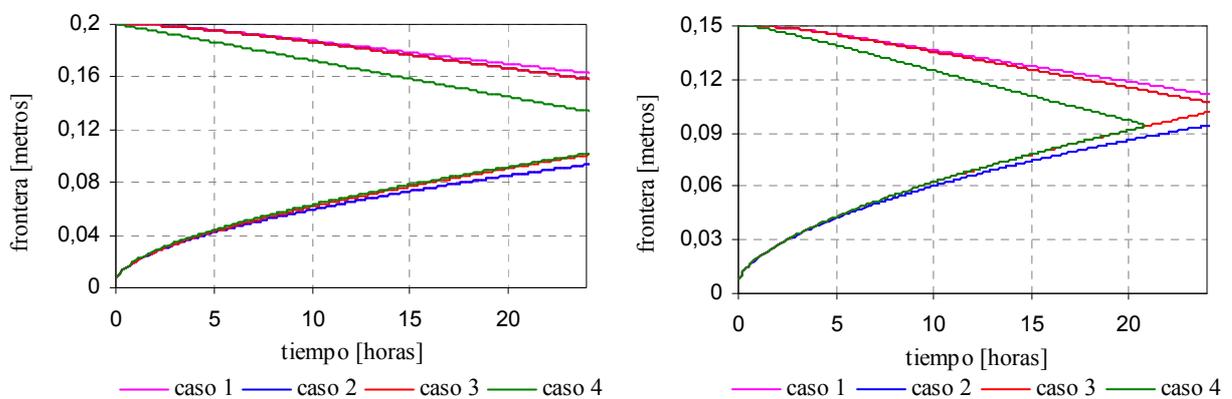


Figura 4: Curvas de frontera libre para un espesor de 20 cm y 15 cm cuando $T_0 = -5^\circ\text{C}$

En la figura 5 se presentan los resultados correspondientes a las mismas condiciones del caso anterior con la única variación que la temperatura inicial, que se ha tomado igual a -2°C . De la comparación de las curvas correspondientes a ambas figuras se aprecia que tanto en la parte (*a*) como en la (*b*) las interfaces de separación están más próximas entre sí. Esto se justifica debido a la mayor inversión de tiempo que demanda el avance de la frontera para una T_0 menor en la sustancia. Así para $T_0 = -5^\circ\text{C}$ el tiempo que demanda elevar la temperatura inicial a la de fusión y su posterior cambio de fase es mayor que para $T_0 = -2^\circ\text{C}$. Se observa también, que para un espesor de 15 cm en el caso de una temperatura creciente en $x=0$ y un flujo de calor también creciente en $x=e$ correspondiente al caso 4 de Tabla 1 se produce la fusión del material sobre 21 horas cuando $T_0 = -2^\circ\text{C}$ y 22 horas cuando $T_0 = -5^\circ\text{C}$.

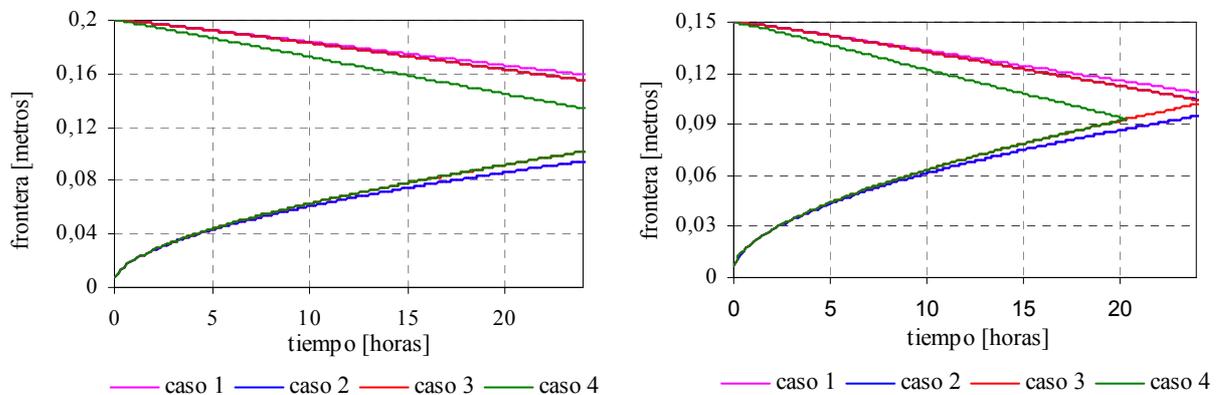


Figura 5: Curvas de frontera libre para un espesor de 20 cm y 15 cm de la pared con $T_0 = -2^\circ\text{C}$

Es importante analizar si las fronteras se interceptan o no, lo que guarda relación con el tiempo total de cálculo y el espesor del material de cambio de fase. Cuando se produce tal intersección, desaparece completamente la fase sólida, el material se encuentra totalmente líquido y por tanto, a partir de allí el problema deja de ser de frontera libre y pasa a ser uno de transferencia de calor en el líquido, situación que escapa a este análisis. El modelo numérico presenta la opción de terminar el proceso al producirse esta situación.

También es interesante conocer las distribuciones de temperatura en el interior del material de cambio de fase; las que se presentan en las figuras 6 y 7 al cabo de 24 horas. Ellas muestran los perfiles de temperatura para las dos condiciones iniciales planteadas ($-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$) y para los distintos casos propuestos.

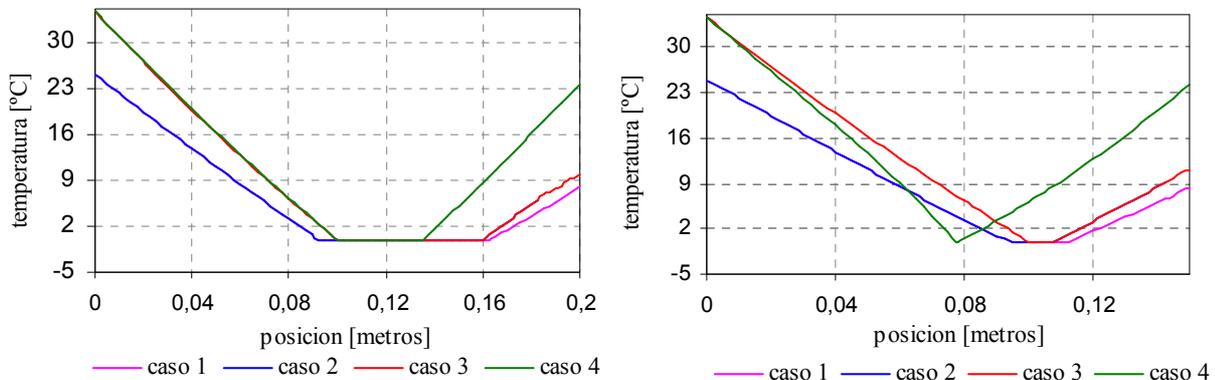


Figura 6: Curvas de distribución de temperatura para un espesor de 20 cm y 15 cm de la pared con $T_0 = -5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

En ambas figuras se observa claramente el gradiente de temperatura en la fase líquida, que va desde la temperatura en el borde hasta la de cambio de fase en el interior del material. Asimismo, se observa que la fase sólida se encuentra a temperatura muy próxima a la de fusión, esto es así debido a la influencia de ambos frentes provenientes de los laterales. Las máximas temperaturas alcanzadas en el borde que está en contacto con el producto agrícola es de $23\text{ }^{\circ}\text{C}$, valor que corresponde a un flujo elevado, en cambio para los demás flujos de calor la temperatura en ese lateral no supera los $10\text{ }^{\circ}\text{C}$.

De la comparación las partes (a) y (b) de las Figuras 5 y 6, se observa que efectivamente se tiene más sólido en la primera situación que en la segunda, lo que es razonable en razón del mayor espesor del material de cambio de fase. De los casos analizados el 4 es el más desfavorable por las temperaturas alcanzadas en ambos laterales y por el hecho que la sustancia se licua completamente para un espesor de 15 cm; sin embargo, cabe señalar, que las condiciones impuestas en ambos laterales son realmente extremas.

En la Figura 7 se presentan los resultados de los perfiles de temperatura cuando la temperatura inicial es $T_0 = -2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Claramente se puede apreciar como para el caso 4 y para un espesor de 15 cm se funde completamente la sustancia, mientras que para el espesor mayor aún se cuenta con fase sólida. A diferencia de la situación en el $T_0 = -5\text{ }^{\circ}\text{C}$, se observa que para el caso 3 con 15 cm de espesor la sustancia está completamente líquida.

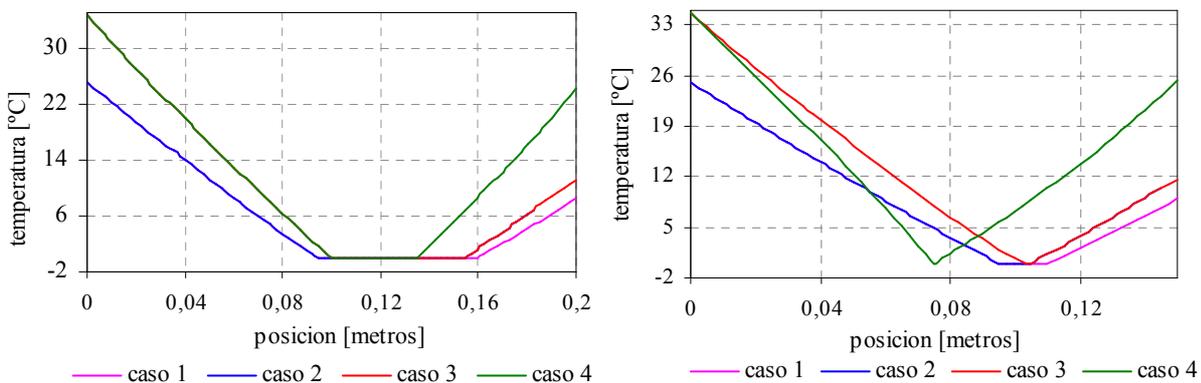


Figura 7: Curvas de distribución de temperatura para un espesor de 20 cm y 15 cm de la pared con $T_0 = -2\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Comparando los resultados presentados en las Figuras 6 y 7, se observa que en las situaciones en que la sustancia se funde completamente, cuanto más alta es la temperatura inicial, esto es, la sustancia se torna líquida antes cuando la temperatura inicial es $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$, que cuando es $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, lo que demuestra que bajar unos pocos grados la temperatura inicial puede contribuir a mejorar el acondicionamiento térmico del producto agrícola, es decir mas horas de confort para el mismo.

CONCLUSIONES

El código de situación presentado es confiable y ha sido validado por lo que puede utilizarse para cualquier condición de borde y temperatura inicial, al igual que para otras sustancias de cambio de fase, solo será necesario conocer las propiedades termo físicas de las sustancias que se desea estudiar para su posterior implementación.

Los resultados muestran que materiales de cambio de fase tales como grasas orgánicas, que son precisamente las sustancias estudiadas en este trabajo, cumplen adecuadamente el objetivo de acondicionar térmicamente el producto frutihortícola en locales destinados al almacenamiento de los productos o durante su transporte y distribución, sin que sean éstas las únicas aplicaciones posibles.

En las condiciones estudiadas, los resultados obtenidos muestran que si la pared tiene un espesor de 20 cm tanto para una temperatura inicial de -2°C ó -5°C , las interfases provenientes de ambos laterales no se interceptan, lo que asegura la existencia de sólido en el interior de la pared. En cambio, para un espesor de 15 cm, que la sustancia se funda completamente dependerá de su temperatura inicial.

La temperatura inicial permite determinar el tiempo durante el cual se puede acondicionar térmicamente las frutas u hortalizas. Los resultados muestran que mientras menor sea ésta, mayor será el tiempo posible de acondicionamiento, sin embargo, se debe tener en cuenta la limitación en temperatura para no ocasionar daño por frío al exponer el producto a temperaturas muy bajas. Es necesario respetar, por tanto, el rango de temperatura en que cada producto puede ser conservado sin sufrir deterioros.

Cuando la temperatura ambiente es elevada una alternativa es aislar el material de cambio de fase, evitando el ingreso de calor del exterior, lo que permitirá que la sustancia se utilice solo como moderadora de temperatura del calor generado por el producto a acondicionar. Esta situación puede llevar a disminuir el espesor del material de cambio de fase, pero el tiempo en que pueda acondicionarlo dependerá del flujo de calor que reciba, ya que la temperatura alcanzada en la pared en contacto con el producto no puede superar el valor máximo al que éste puede ser expuesto sin deterioro.

Queda claro que el rango de temperatura del producto condiciona también la elección de la sustancia de cambio de fase en lo que respecta a su temperatura de fusión. Se puede inferir que dicha temperatura debe ser menor que la cota inferior del rango de temperatura del producto, ya que de lo contrario se estaría generando una fuente adicional de calor que ingresaría al producto y lejos de conservar su calidad inicial aceleraría el proceso de maduración y su rápido paso a la senescencia.

El acondicionamiento térmico de los productos agrícolas por medio de materiales de cambio de fase, como moderadora de temperatura, resulta ser una alternativa más para la conservación de las propiedades nutritivas de los frutos y su arribo al mercado y al consumidor en buenas condiciones. Esta propuesta no pretende competir con la conservación por medio de refrigeraciones mecánicas o eléctricas, sino presentar una posibilidad de aprovechamiento de otras fuentes de energía que permiten el ahorro de energía convencional.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo se desarrolló en el marco del Proyecto de Investigación N° 1554 del Consejo de Investigaciones de la Universidad Nacional de Salta, a quien se agradece su financiamiento.

REFERENCIAS

- Alexiades, V y 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, L. (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, pág. 640 - 648.
- Boucíguez, A. y Villa, L. (2002) Curso de Postgrado: *Problemas de Cambio de Fase. El Problema de Stefan a una y dos Fases*. Cuadernillo del Curso. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Salta.
- González, J y Boucíguez, A. (2004) *Resolución Numérica del Problema de Stefan a Una Fase. Un Modelo Mejorado*. Comunicación a la XXVII Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente (ASADES), La Plata, Argentina. Vol. 8, N° 2, pág. 08.01 – 08.02
<http://www.postharvest.ucdavis.edu>
- Murray, R. Budde, C y Lucangeli, C. (2000) *Los Secretos del Buen Frío*. Revista Super Campo, Año VII N° 74, pp.22 – 25.
- Pantásico, B. (1979) *Fisiología de la Postrecolección, Manejo y Utilización de Frutas y Hortalizas Tropicales y Subtropicales*. Compañía Editorial Continental, México.
- Swern, D. (1964) *Physical Properties of Fats and Fatty Acids*. Cap. 3 Bailey's Industrial Oil and Fat Products.
- Tarzia, D., (2005) *Soluciones al Problema de Frontera Libre y sus Aplicaciones* Seminario. Unión Matemática Argentina. Salta.

THERMAL CONDITIONING OF FRUIT AND VEGETABLES USING ORGANIC WAXES

ABSTRACT: The use of organic waxes for thermal conditioning in the packing of agricultural products, during its transport and storage is presented here. These substances will be contained as an integral part of the packing wall of the product, so one of their sides will be in contact with the product and the other with the external ambient. So, there are two boundary conditions: the external ambient temperature and flux of heat of the storage agricultural product. The initial condition is solid at a temperature less than the melting point. It is the so-called two-phase Stefan problem. Two different values of the initial temperature have been studied. The obtained results show that these materials can control the temperature of the agricultural products.

Key words: organic waxes, phase change materials, finite model, Stefan problem, agricultural product.