

## **CoolSys: HERRAMIENTA COMPUTACIONAL DE AUXILIO A LA POSCOSECHA DE PRODUCTOS HORTOFRUTÍCOLAS**

**BÁRBARA J. TERUEL<sup>(1)</sup>, ANTONIO GILSON BARBOSA DE LIMA<sup>(2)</sup>, FÁBIO LUIZ SUBVERTÍ<sup>(3)</sup>, RAFAEL VIOLA<sup>(4)</sup>, LUIS AUGUSTO BARBOSA CORTEZ<sup>(5)</sup> Y THEO GUENTER KIECKBUSCH<sup>(6)</sup>**

<sup>(1)</sup>Faculdade de Engenharia Agrícola. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, UNICAMP. CEP. 13083-970. Brasil. Tel: 53-19-3521-1082, Fax: 53-19-3521-1005. E-mail: [barbarat@agr.unicamp.br](mailto:barbarat@agr.unicamp.br).

<sup>(2)</sup>Universidade Federal de Campina Grande, Brasil.

<sup>(3)</sup>Faculdade de Engenharia Elétrica/UNICAMP

<sup>(4)</sup>Faculdade de Engenharia Agrícola /UNICAMP

<sup>(5)</sup>Faculdade de Engenharia Agrícola /UNICAMP

<sup>(6)</sup>Faculdade de Engenharia Química/UNICAMP.

**Palabras clave:** frutas – hortalizas – temperatura - humedad relativa - método de enfriamiento - calor específico – densidad - conductividad térmica

### **RESUMEN**

*CoolSys* es un programa para el cálculo y simulado de procesos de enfriamiento y almacenamiento de productos hortofrutícolas, estructurado en cuatro módulos: Módulo de Almacenamiento e Compatibilidad; Módulo de Embalajes; Módulo de Propiedades Termofísicas y Módulo de Enfriamiento. El programa fue desarrollado en ambiente *MS Visual Basic v. 5.0* y registrado por el Instituto Nacional da Propriedade Industrial (Brasil), para aplicación en el área de Tecnología de Poscosecha. Ventanas de fácil acceso conteniendo informaciones de los productos y procesos, así como figuras ilustrativas, creación de tablas, gráficos y archivos de datos, permiten al usuario una buena comprensión así como la impresión de relatórios.

### **INTRODUCCION**

La producción de frutas y hortalizas en Brasil y en el mundo crece significativamente a cada año. Por tanto la aplicación de tecnologías después de la cosecha, los embalajes, procesos de enfriamiento, almacenamiento, procesamiento, transporte y distribución, necesitan constante mejoramiento tecnológico.

La optimización de los procesos y tecnologías envueltas en la postcosecha trae beneficios, no solo para mantener la calidad de los productos hortofrutícolas por mayor tiempo, como en la economía de recursos y disminución de las pérdidas, lo que sin dudas se reflejará en la racionalización de los costos.

De particular importancia son los procesos de enfriamiento rápido, cuyo objetivo es disminuir el tiempo necesario para que los productos alcancen una temperatura próxima de la recomendada para el almacenamiento. El tiempo de enfriamiento depende de varios factores, entre los que se destacan: el flujo de aire (relacionado directamente con la velocidad), las dimensiones del embalaje o del palete, la cantidad, geometría y las propiedades térmicas y físicas de los productos.

Desde el punto de vista didáctico, para cursos de Ingeniería de Alimentos y de Ingeniería Agrícola, es de gran importancia poder contar con herramientas de auxilio y de

fácil manipulación, que sirvan de apoyo a las clases teóricas sobre sistemas de enfriamiento. Con el auxilio de herramientas computacionales, los alumnos pueden realizar diferentes simulaciones comparando diferentes situaciones, obteniendo el tiempo de enfriamiento, en un corto espacio de tiempo, pudiendo entender mejor la dinámica de los procesos de enfriamiento.

El almacenamiento refrigerado es otro proceso que debe ser entendido y tratado con mucho cuidado, respetando la compatibilidad entre los productos, pues cada producto debe ser almacenado a una temperatura y humedad específica y no debe ser mezclado con productos de tasas respiratorias incompatibles o con alta producción de etileno, para evitar daños por el frío, modificaciones en el sabor así como otros problemas que afectan la calidad y la comercialización de los mismos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

En esta conferencia se presenta una herramienta computacional, dividida en dos partes: *CoolSys* 1.0 y *CoolSys* 2.0.

El programa *CoolSys* 1.0 es una herramienta para fines didácticos, para la simulación de los procesos de enfriamiento, con interfase hombre-máquina amigable, y figuras ilustrativas. Después de cada simulación es generada una planilla Excel conteniendo los datos de enfriamiento del producto y del aire, así como los gráficos con las curvas de enfriamiento en diferentes posiciones del embalaje. Esta planilla puede ser salvada en archivo para posterior análisis.

El *CoolSys* 2.0 es una herramienta dividida en tres bancos: 1- Almacenamiento; 2- Embalajes; 3-Propiedades Térmicas y Físicas. El banco de Almacenamiento contiene las informaciones de frutas y hortalizas, mostrando una foto ilustrativa, nombre científico, recomendaciones de temperatura y humedad relativa, tiempo de conservación, sensibilidad al etileno, padrón respiratorio y tipo de enfriamiento recomendado. Posee también una ventana donde se puede obtener la lista de productos que son compatibles en el almacenamiento con el producto consultado, generando un relatorio que puede ser impreso en la hora o archivado.

El banco Embalajes contiene informaciones sobre los embalajes disponibles en el mercado brasileño, foto ilustrativa, capacidad de producto, dimensiones y área efectiva de abertura.

El banco de Propiedades Térmicas y Físicas contiene las informaciones sobre la densidad, calor específico, conductividad térmica, °Brix, pH y contenido de humedad de frutas y hortalizas. Se hace referencia al método y a la referencia bibliográfica de donde fue obtenida. La lista de referencias bibliográficas así como informaciones complementares también está disponible en el programa.

Esta herramienta es de fácil manipulación y entendimiento, pudiendo ser usada por productores, distribuidores, supermercados y también para fines didácticos, obteniendo rápidamente informaciones que están contenidas apenas en literaturas específicas dificultando el acceso a las mismas.

## RESULTADOS

### Presentación del *software CoolSys*

La versión disponible del *CoolSys* fue escrita en idioma Portugués. El programa cuenta con bancos internos de datos de: propiedades térmicas y físicas del aire y de los productos para diferentes temperaturas, ilustraciones de los productos y embalajes. A continuación se presentan las características del programa y de los módulos.

## Módulos del *CoolSys 1.0*

- Tela de abertura
- Módulo de Resfriamento
- BIBLIOGRAFÍA
- Informações sobre o sistema

### Tela de abertura

La tela de abertura permite escoger el módulo deseado a través de botones dispuestos en la parte superior de la tela (Figura 1).

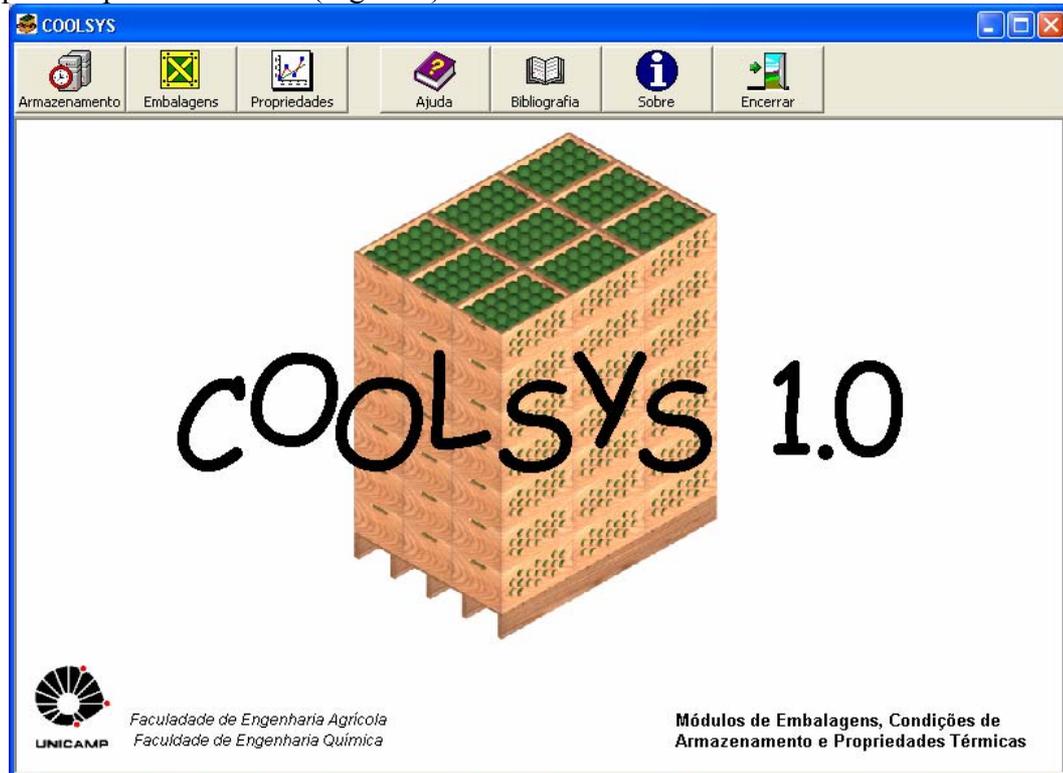


Figura 1: Tela de abertura del programa *CoolSys*.

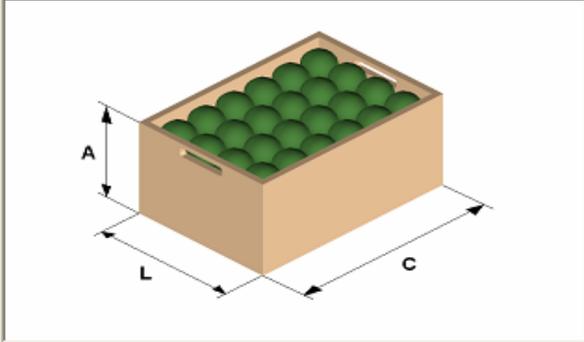
### Módulo de enfriamiento

En la figura 2 se muestra la página inicial de acceso al programa de cálculo y simulado del proceso de enfriamiento de frutas y hortalizas. El usuario puede seleccionar el tipo de producto y llenar las ventanas con los datos de las cajas, del producto, del medio de enfriamiento y el criterio de parada de los cálculos. Después de accionar el botón de cálculo el programa demorará instantes para mostrar los resultados, abriendo un archivo en Excel, que contiene varias planillas con gráficos y tablas con los datos numéricos del cálculo de la temperatura del producto en diferentes posiciones de la caja, temperatura del aire de enfriamiento a lo largo del lecho y durante el proceso de enfriamiento, tiempo de medio y de siete-octavos del enfriamiento, coeficiente de enfriamiento así como las curvas de enfriamiento del aire y del producto en varias posiciones de la caja (Figura 3). El archivo puede ser salvado para posterior análisis, impresión o procesamiento. Existe la opción también de abrir un archivo que ya esté archivado en un banco de datos.

CoolSys 1.0 - [CoolSys 1.0]

Novo Abrir Salvar Calcular Ajuda Encerrar

**Embalagem**



**Dimensões:**

Comprimento (C): 0,528 metros

Largura (L): 0,33 metros

Altura (A): 0,31 metros

**Sentido do fluxo:**

Comprimento (C)

Largura (L)

Altura (A)

**Informações sobre o produto:**

Tipo de Produto:

Fruta  Hortalíça

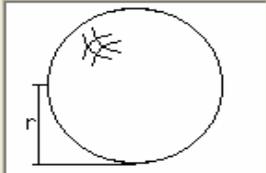
Laranja



**Geometria:**

Esfera

r: 3,61 cm



Temperatura Inicial: 22,5 °C

Quantidade (kg) de produto por embalagem: 20

**Meio de Resfriamento:**

Meio de Resfriamento:  Ar  Água

Velocidade do Fluxo: 1 m/s

Temperatura: 0

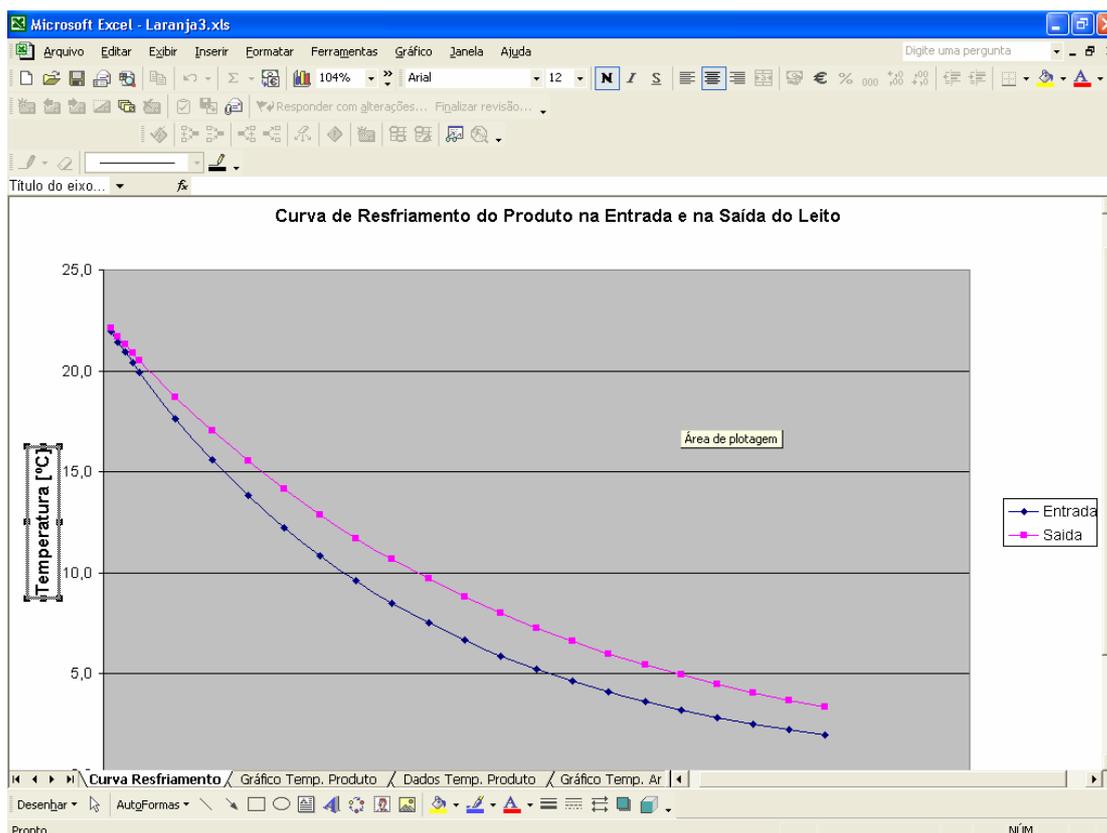
**Critério de parada:**

Tempo de 1/2 resfriamento

Tempo de 7/8 de resfriamento

Tempo personalizado: min

Figura 2: Tela de entrada de dados para el cálculo de enfriamiento.



**Figura 3:** Curva de enfriamiento generada por el programa y planillas en Excel.

### Módulos do *CoolSys 2.0*

El *CoolSys 2.0* está formado por los siguientes módulos:

- **Tela Inicial**
- **Módulo Condições de Armazenamento e Compatibilidade**
- **Módulo de Embalagens**
- **Módulo de Propriedades Físicas e Térmicas**
- **BIBLIOGRAFIA**
- **Informações sobre o sistema**

### Módulo de Condiciones de Almacenamiento y Compatibilidad

Contiene bancos de datos con las condiciones recomendadas para el almacenamiento de frutas y hortalizas, como: temperatura, humedad relativa, tiempo de almacenamiento recomendado, sistema de enfriamiento recomendado, padrón respiratorio y sensibilidad al etileno. Pinchando en el botón Listar productos compatibles, el programa muestra la lista de productos hortofrutícolas que pueden ser almacenados juntos, dependiendo del padrón respiratorio, temperatura y humedad (Figura 4).

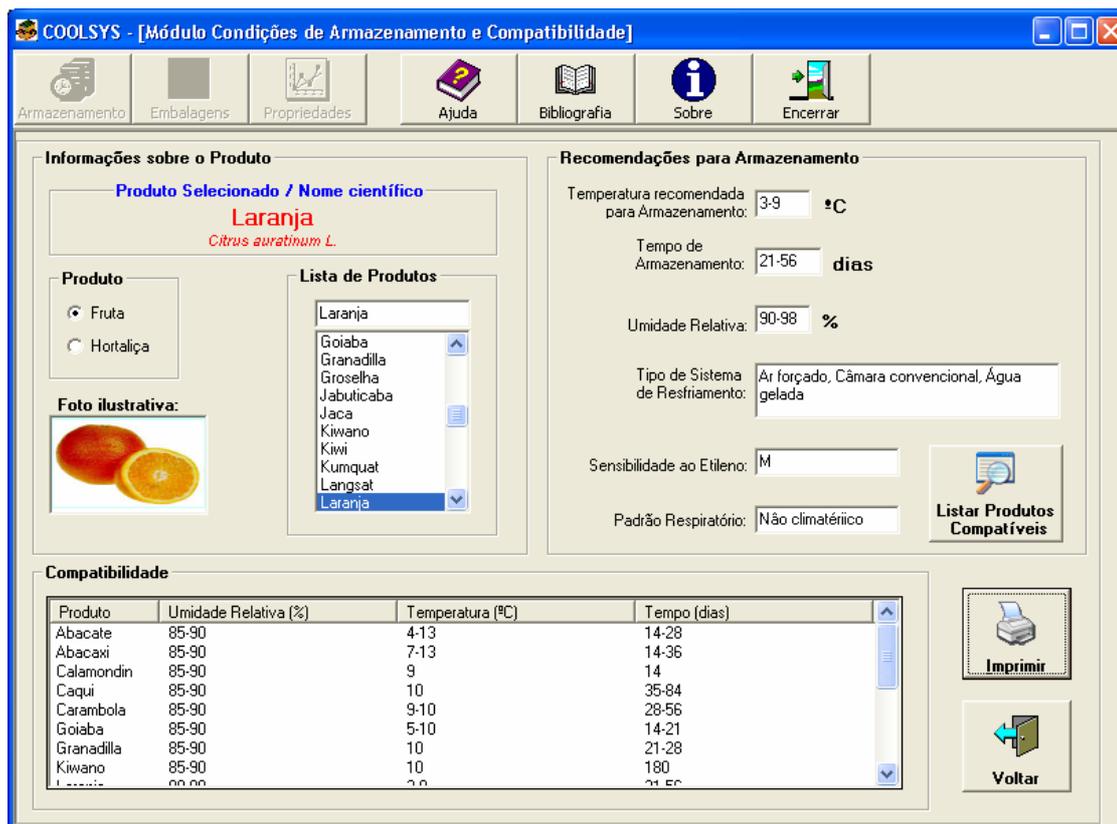


Figura 4: Módulo de condiciones de almacenamiento y compatibilidad

### Módulo de cajas

Contiene un banco de informaciones y datos sobre cajas disponibles en el mercado de Brasil. Las informaciones se pueden buscar por el tipo de producto embalado o la cantidad de producto que contiene la caja. En seguida aparecerán las informaciones del tipo de material de la caja, tipo de producto, dimensiones, área efectiva de aberturas y una figura ilustrativa de la caja (Figura 5).

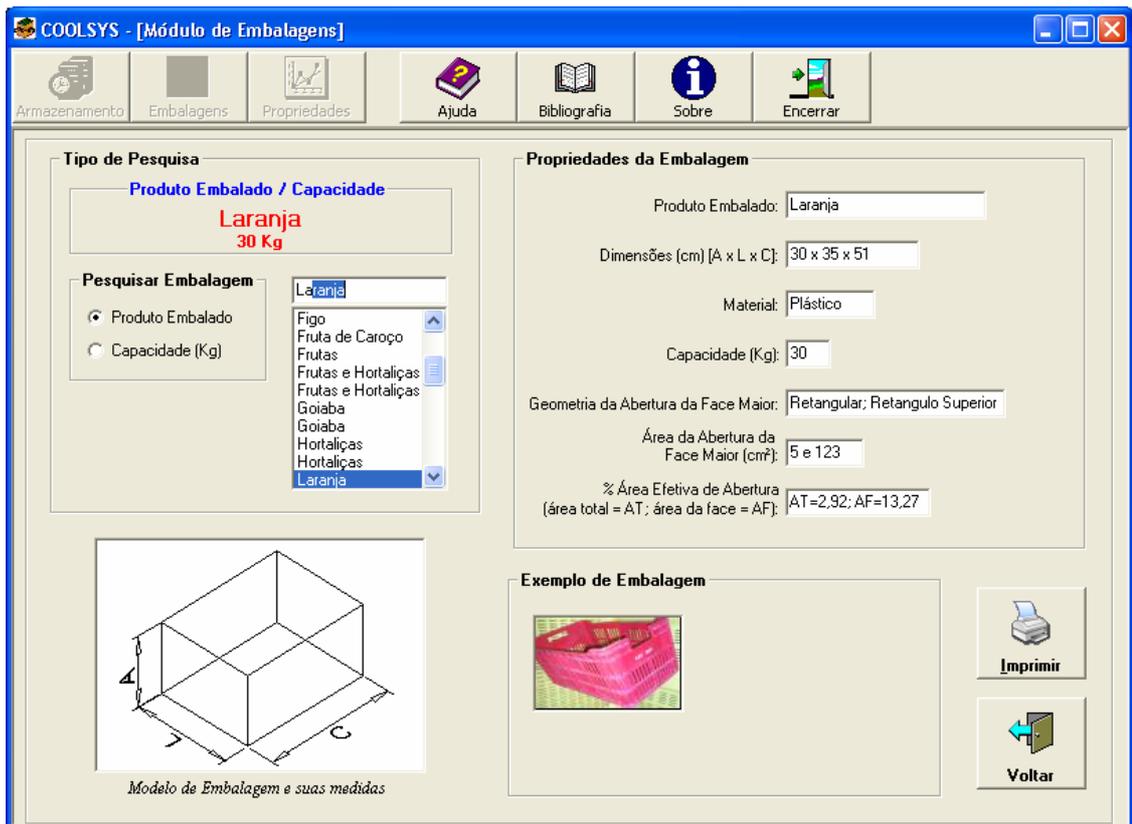


Figura 5: Módulo de cajas

### Módulo de Propiedades Térmicas y Físicas

En este módulo es posible obtener datos de las propiedades térmicas y físicas de frutas y hortalizas, obtenidas por diferentes métodos. Las propiedades relacionadas son: calor específico, calor latente, teor de agua, densidad, pH, °Brix y conductividad térmica (Figura 6).

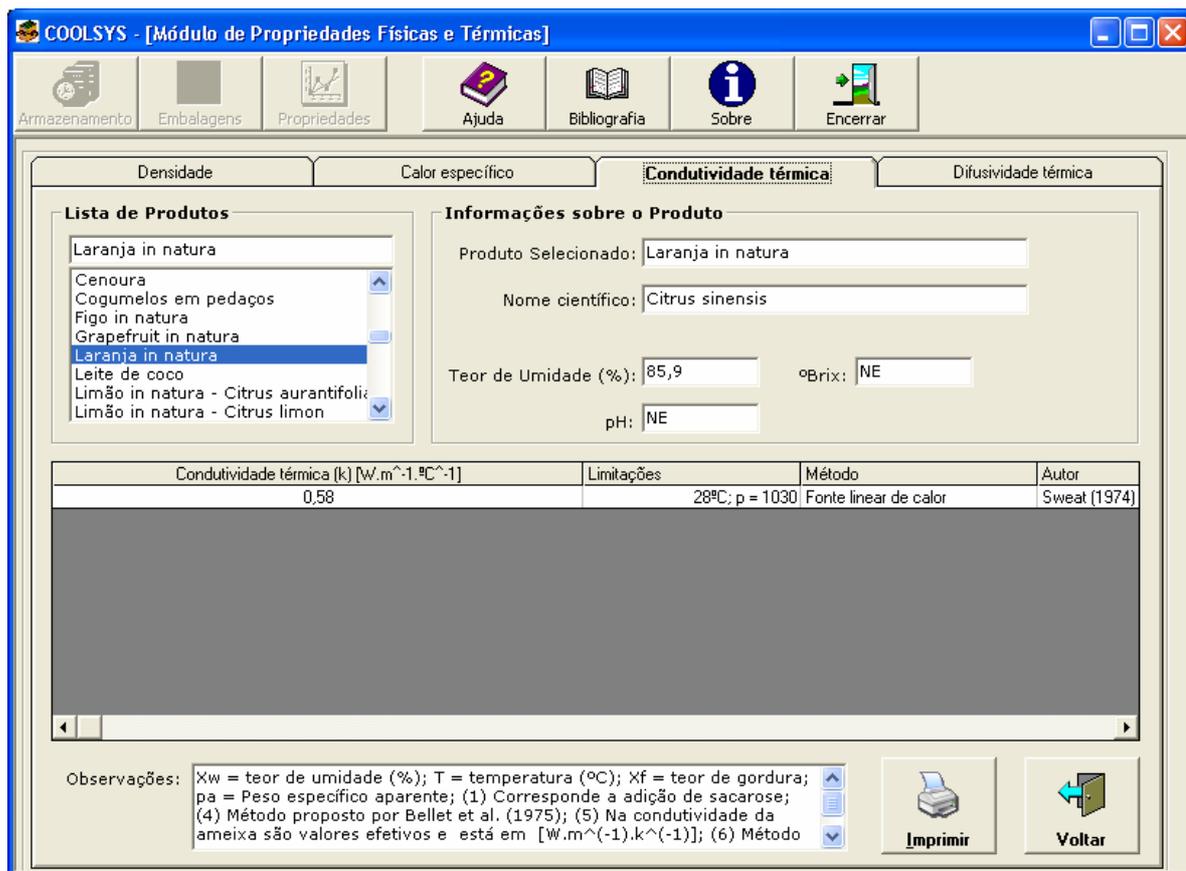


Figura 6: Módulo de propiedades térmicas y físicas

## CONCLUSIONES

El programa *CoolSys* es una herramienta con interfase hombre-máquina amigable, que puede ser usada con fines didácticos y comerciales.

Carreras que contienen disciplinas de poscosecha pueden utilizarla para auxiliar a comprensión de los procesos de enfriamiento sobre diversas condiciones.

Agricultores, distribuidores y demás usuarios de tecnologías de poscosecha, pueden obtener a través del uso del programa informaciones sobre el enfriamiento y almacenamiento de productos hortofrutícolas, así como consultar características y propiedades de productos y cajas.

## AGRADECIMIENTOS

A la Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), por el apoyo financiero.

## BIBLIOGRAFÍA

- ALVARADO, J. D. Specific heat of dehydrated pulps of fruits. *Journal of Food Process Engineering*, Connecticut, v.14, p.189-195, 1991.
- ALVARADO, J. D. Propriedades físicas de frutas. IV Difusividad y conductividad térmica efectiva de pulpas. (Physical properties of fruits. IV. Effective thermal diffusivity and conductivity of pulps). *Latin American Applied research*, v. 24, p. 41-47, 1994.
- ALVARADO, J. D; ROMERO, C. H. Physical properties of fruits I-II. Density and viscosity of juices as functions of soluble solids content and temperature. *Latin American Applied Research*, v19, p. 15-21, 1989.

- ARAÚJO, J. L.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIREDO, R. M. F. Propriedades termofísicas de polpa de cupuaçu com diferentes teores de sólidos. *Revista ciência e agrotecnologia*, Lavras, v. 28, n. 1, p. 126-134, jan/fev., 2004.
- ASHRAE. Refrigeration Handbook. Commodity Storage Requirements. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. 1994. Chapter 25. p. 25.2-25.5
- BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br>>. Acesso em: 07 dez.2005.
- CARBONERA, L.; CARCIOFI, B. M.; HUBER, E.; LAURINDO, J. B. Determinação experimental da difusividade térmica de uma massa de tomate comercial. *Brazilian Journal of Food Technology*, v.6, n.2, p. 285-290, jul./dez., 2003.
- CEPAGRI. Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas a Agricultura, Disponível em: <<http://www.cepagri.br/portal/modules.php?name=Paginas-Internas&file=climacps>>. Acesso em: 21 fev.2006.
- CHOI, Y.; OKOS, M. R. Effects of temperature and composition on the thermal properties of foods. In: *Food Engineering and Process Applications, Vol 1. Transport Phenomena*. Ed by M. LE. Maguer & P. Jelen, Great Britain, London, Elsevier Applied Science Publishers, 1986, p. 93-101.
- CONSTENLA, D. T.; LOZANO, J. E.; CRAPISTE, G. H. Thermophysical properties of Clarified Apple Juice as a Function of Concentration and Temperature. *Journal of Food Science*, v. 54, n.3, p. 663-668, 1989.
- DICKERSON, R. W. An apparatus for the measurement of thermal diffusivity of foods. *Food Technology*, v.52, p. 880-886, 1965.
- DUARTE, M. E. M.; MATA, M. E. R. M. C.; PAIVA, B. R. Propriedades termofísicas da polpa de mangaba a baixas e ultra-baixas temperaturas: densidade e calor específico. *Revista Brasileira de Produtos agroindustriais*, Campina Grande, Especial, n .1, p. 19-29, 2003.
- FAO. FAOSTAT - Database. Disponível em: <<http://apps.fao.org>>. Acesso em 07, dez,2005.
- FONTANA, A. J.; VARITH, J.; IKEDIALA, J.; REYES, J.; WACKER, B. Thermal properties of selected foods using a dual needle heat-pulse sensor. ASAE/CSAE-SCGR Annual International Meeting, Paper n. 996063, 1999.
- FREIRE, E. S. Thermal properties of dry cocoa beans. 122 p. Dissertação (M.Sc. Thesis) Cranfield Institute of Technology - National College of Agricultural Engineering, 1981, apud PARK, K. J.; MURR, F. E. X.; SALVADEGO, M. Medição da condutividade térmica de milho triturado pelo método da sonda. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v.17 (3), p.242-247, set-dez., 1997.
- FREIRE, E. S. Thermal properties of dry cocoa beans. 122 p. Dissertação (M.Sc. Thesis) Cranfield Institute of Technology - National College of Agricultural Engineering, 1981, apud NUNES, A. S.; PARK, K. J.; DAL FABRO, I. M.; PARK, K. J. B.; BROD, P. R. Métodos de determinação experimental da condutividade e difusividade térmica de materiais biológicos- Revisão. *Boletim SBCTA*, Campinas, v.36 (1), p. 55-68, jan.-jun, 2002.
- GABAS, A. L.; MARRA-JUNIOR, W. D.; TELIS-ROMERO, J.; TELIS, V. R. N. Changes of density, thermal conductivity and specific heat of plumes during drying. *International Journal of Food Properties*, v. 8. p. 233-242, 2005.
- HAYES, C. F. Thermal diffusivity of papaya fruit (*Carica papaya* L., Var. Solo). *Journal of Food Science*, v. 49, p. 1219-1221, 1984
- IBGE. Produção Agrícola. Disponível em: Site Sistema IBGE de recuperação automática - SIDRA (2001): <<http://www.sidra.ibge.gov.br/cgi-bim/v/m/pamltap>> acesso em 07 de dez, 2005.

- KAZARIAN, E. A.; HALL, C. W. Thermal properties of grain. Transactions of the ASAE, St. Joseph, v. 8, n.1, p.33-48, 1965 apud NUNES, A. S.; PARK, K. J.; DAL FABRO, I. M.; PARK, K. J. B.; BROD, P. R. Métodos de determinação experimental da condutividade e difusividade térmica de materiais biológicos- Revisão. Boletim SBCTA, Campinas, v.36 (1), p. 55-68, jan.-jun, 2002.
- KUROZAWA, L. E. ; EL-AOUAR, A. A.; SIMÕES, M. R.; AZOUBEL, P. M.; MURR, F. E. X. Determinação of termal conductivity and termal diffusivity of papaya (carica papaya L.) as a function of temperature. In: 2nd Mercosur Congress on Chemical Engineering; 4th Mercosur Congress on Systems Engineering, 2005, Costa Verde, RJ.Anais...Costa Verde, 2005.
- LENTZ, C. P. Thermal Conductivity of Meats, Fats, Gelatin Gels, and Ice. Food Technology, v.15, p. 243-247, 1961.
- LEWIS, M. J. Physical Properties of Foods and Food Processing Systems. England: Ed Ellis Horwood, 1987.
- LIMA, I. J. E.;QUEIROZ, A. J. M.;FIGUEIREDO, R. M. F. Propriedades termofísicas da polpa de umbu. Revista Brasileira de Produtos agroindustriais, Campina Grande, Especial, n .1, p. 31-42, 2003.
- MATA, M. E. R. M. C.;DUARTE, M. E. M. Calor específico da polpa de cajá a temperaturas criogênicas e diferentes concentrações de sólidos solúveis: métodos das misturas. Revista Brasileira de Produtos agroindustriais, Campina Grande, Especial, n .1, p. 1-7, 2003.
- MILES, C, A.; Van BEEK, G.;VEERKAMP, C. H. Calculation of thermophysical properties of foods. In: Physical properties of foods: Ed by Jowitt, R; Escher, F; Hallström, B; Meffert, H. F. Th; Spiess, W. E. L; Vos, G. , London and New York, Applied Science Publishers, p. 269-312, 1983.
- MOHSENIN, N. N. Thermal properties of foods and agricultural materials. New York: Gordon and Breach Science Publishers, 1980.
- MOURA, S. C. S. R.; FRNÇA, V. C. L.; LEAL, A. M. C. B. Propriedades termofísicas de soluções similares a sucos - parte I. Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas, v.23, p.62-68, jan.-abr., 2003.
- NUNES, A. S.; PARK, K. J.; DAL FABRO, I. M.; PARK, K. J. B.; BROD, P. R. Métodos de determinação experimental da condutividade e difusividade térmica de materiais biológicos- Revisão. Boletim SBCTA, Campinas, v.36 (1), p. 55-68, jan.-jun, 2002.
- OHLSSON, T. The Measurement of Thermal Properties. In: Physical properties of foods: Ed by Jowitt, R; Escher, F; Hallström, B; Meffert, H. F. Th; Spiess, W. E. L; Vos, G. , London and New York, Applied Science Publishers, p. 313-326, 1983..
- OTTEN, L. Determination of heat transfer using frequency response analysis. Canadian Agricultural Engineering, v. 16, n.02, p.103-106, 1974 apud PARK, K. J.; MURR, F. E. X.; SALVADEGO, M. Medição da condutividade térmica de milho triturado pelo método da sonda. Ciência e Tecnologia de Alimentos, v.17 (3), p.242-247, set-dez., 1997.
- PARK, K. J.; MURR, F. E. X.; SALVADEGO, M. Medição da condutividade térmica de milho triturado pelo método da sonda. Ciência e Tecnologia de Alimentos, v.17 (3), p.242-247, set-dez., 1997.
- PARK, K. J.; ITO, A. P.; LEITE J. T. C. Influência da granulometria do diâmetro e do comprimento de amostras de grãos triturados de soja na determinação de coeficientes simultâneos de transferência. Ciência e Tecnologia de Alimentos, v.22 (2), p.136-142, maio-agosto, 2002.

- PEREIRA, E. A.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIREDO, R. M. F. Massa específica de polpa de açaí em função do teor de sólidos totais e da temperatura. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, PB, v.6, n.3, p.526-530, 2002.
- RAPUSAS, R. S.; DRISCOLL, R. H. Thermophysical properties of Fresh and Dried white Onion Slices. *Journal of Food Engineering*, Great Britain, v. 24, p. 149-164, 1995.
- SARRIA, S. D.; HONÓRIO, S. L. Condutividade e difusividade térmica do figo (*ficus carica* L.) "Roxo de Valinhos". *Jornal da associação brasileira de engenharia agrícola*, Jaboticabal, v.24, n.1, p.185-194, jan./abr., 2004.
- SHRIVASTAVA, M.; DATTA, A. K. Determination of heat and thermal conductivity of mushrooms (*Pleurotus florida*). *Journal of Food Engineering*, Great Britain, v. 39, p. 255-260, 1999.
- SILVA, S. B. Propriedades Termofísicas da Polpa de Abacaxi. 92p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1997.
- SIMÕES, R. M. Propriedades Termofísicas da Polpa de Manga 73p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1997.
- SINGH, R. P. Thermal diffusivity in food processing. *Food Technology*, v.36 (2), p.87-91, fev., 1982.
- SOUSA, E. M. B. D. Et al. Propriedades termofísicas de polpas de frutas tropicais. In: XIII Congresso Brasileiro de Engenharia Química; XIX Interamerican Congress of Chemical Engineering; I Brazilian Congress of Phase Equilibrium and Fluid properties for Chemical Process Design, 2000, Águas de São Pedro, SP. Anais...Águas de São Pedro, 2000. 1 CD-ROM.
- SWEAT, V. E. Experimental values of thermal conductivity of selected fruits and vegetables. *Journal of Food Science*, v. 39, p. 1080-1083, 1974.
- SWEAT, V. E. Thermal properties of foods. In: *Engineering properties of foods*. Ed by M. A. Rao & S. S. H. Rizvi (2<sup>a</sup> ed). New York, USA, Marcel Dekker, 1995, p. 126 apud TANSAKUL, A.; CHAISAWANG, P. Thermophysical properties of coconut milk. *Journal of Food Engineering*, Great Britain, v. 73, p. 276-280, 2006.
- SWEAT, V. E. Thermal properties of foods. In: *Engineering properties of foods*. Ed by M. A. Rao & S. S. H. Rizvi, New York, USA, Marcel Dekker, 1986, p. 54
- TANSAKUL, A.; CHAISAWANG, P. Thermophysical properties of coconut milk. *Journal of Food Engineering*, Great Britain, v. 73, p. 276-280, 2006.
- TELIS-ROMERO, J.; TELIS, V. R. N.; GABAS, A. L.; YAMASHITA, F. Thermophysical Properties of Brazilian Orange Juice as Affected by Temperature and Water Content. *Journal of Food Engineering*, Great Britain, v.38, p. 27-40, 1998.
- ZAINAL, B. S.; RAHMAN, R. A.; ARIFF, A. B.; SAARI, B. N.; ASBI, B. A. Effects of temperature on the physical properties of pink guava juice at two different concentrations. *Journal of Food Engineering*, Great Britain, v. 43, p. 55-59, 2000.
- ZURITZ, C. A.; PUNTES, E. M.; MATHEY, H. H.; PÉREZ, E. H.; GASCÓN, A.; RUBIO, L. A.; CARULLO, C. A.; CHERNIKOFF, R. E.; CABEZA, M. S. Density, viscosity and coefficient of thermal expansion of clear grape juice at different soluble solid concentrations and temperatures. *Journal of Food Engineering*, Great Britain, v. 71, p. 143-149, 2005.