

# REQUERIMIENTOS DE CALEFACCIÓN DE CULTIVOS EN INVERNADEROS DE TOMATE Y PIMIENTO EN DISTINTAS ZONAS DE LA PAMPA HÚMEDA, ARGENTINA<sup>1</sup>

## Heating requirements of greenhouse-grown tomato and pepper in different areas of the Pampa Húmeda, Argentina

Claudia Sainato<sup>2</sup>, Ana Landini<sup>2</sup>, Mariano Landini<sup>2</sup>, Libertad Mascarini<sup>2</sup> y Lucila Bottini<sup>2</sup>

### ABSTRACT

Reduced night temperatures during winter months at the Pampa Húmeda, Argentina, limit the production of certain crops. It is therefore necessary to protect those crops with covers and heating in order to establish a temperature gradient between internal (crop optimum) and external temperatures, and also to evaluate the costs of such heating systems. This study assessed the fuel consumption required to heat greenhouses with tomato and pepper crops during the months of July and August in the following localities: Rosario, Buenos Aires, Mar del Plata and Bahía Blanca. A simple model was applied which considers the losses of heat by convection, conduction and radiation with fixed parameters of the greenhouse structure, using external temperature data. Double-roofed greenhouses reduced fuel consumption by approximately 13.5% and a reduction of 27.5% was observed for a total transmission coefficient  $k = 3.5 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$  with respect to  $k = 5 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ . Even though fuel consumption was not closely related to the number of air renovations per hour within the greenhouse, variations in consumption connected to their geographical location were observed. There was an increase in the income for both crops using a heating system, due to greater and better productions, and also to their earlier arrival at the market.

**Key words:** greenhouse, heating system, tomato and pepper, *Lycopersicon esculentum*, *Capsicum annuum*.

### INTRODUCCIÓN

La producción de cultivos en invernaderos se encuentra limitada principalmente por el descenso de las temperaturas ambientales nocturnas en los meses de invierno. En particular, Gariglio *et al.* (1989), han observado este hecho en la zona del Cinturón Hortícola Santafesino, Argentina. El riesgo de heladas y el bajo establecimiento de

frutos en tomate (*Lycopersicon esculentum*) y la deformación en pimiento (*Capsicum annuum*), son algunas de las consecuencias de las bajas temperaturas, que además significan bajo o nulo valor comercial de los mismos (Noto, 1984; Rylski and Spigelman, 1992).

Según Wann *et al.* (1985) la energía requerida para la protección de los cultivos depende no sólo de las condiciones climáticas, sino de las prácticas de manejo y diseño de la estructura. Es por eso que el estudio de los requerimientos de calefacción y consumo de combustible constitu-

<sup>1</sup>Recepción de originales: 25 de septiembre de 1997.

<sup>2</sup>Universidad de Buenos Aires, Facultad de Agronomía, Avenida San Martín 4453 (1417), Buenos Aires, Argentina. E-mail: csainato@mail.agro.uba.ar

yen el paso previo al diseño de los sistemas de climatización, que se adapten mejor a las necesidades de cada zona en función de los costos de insumo-producto. Para llevar a cabo este objetivo es conveniente la aplicación de modelos sencillos que estimen los balances energéticos. Gariglio *et al.* (1994) validaron con datos experimentales un modelo que estima las pérdidas de calor de un invernadero durante la noche, y que permite calcular, dada la temperatura exterior e interior y los parámetros del invernadero, el consumo de combustible.

Los objetivos de este trabajo fueron calcular el consumo de combustible para calefaccionar invernaderos en período nocturno, en distintas zonas de la Pampa Húmeda, dadas las temperaturas óptimas requeridas por el tomate y el pimiento; analizar el consumo energético en función de los distintos parámetros del invernadero: área de la cubierta, coeficiente de transmisión total para distintos tipos de materiales de cubiertas y hermeticidad del invernadero; y hacer un análisis económico sobre la conveniencia de la aplicación de esta tecnología.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Cálculo del consumo de combustible

Para los cálculos de las pérdidas de calor del invernadero, y el consumo de combustible necesario para mantener la temperatura óptima del cultivo en el interior durante la noche, se aplicó un modelo basado en el balance general de energía (Alpi y Tognoni, 1991); un modelo similar fue validado anteriormente con datos experimentales por Gariglio *et al.*, 1994.

La pérdida de calor a través de la cubierta ( $q_c$ ), agrupando las correspondientes a conducción, convección y radiación infrarroja (Nijskens, 1984; Roberts *et al.*, 1985), son por unidad de área de suelo cubierto ( $A_s$ ) y por unidad de tiempo:

$$q_c = \frac{k A_c (T_i - T_o)}{A_s}$$

donde:

- k: coeficiente de transmisión total de la cubierta ( $W m^{-2} K^{-1}$ ).  
 $A_c$ : área de la cubierta ( $m^2$ ).  
 $T_i, T_o$ : temperaturas interior y exterior respectivamente (K).

El calor que se pierde por infiltración de aire ( $q_r$ ), por unidad de área de suelo ( $A_s$ ) y por unidad de tiempo es:

$$q_r = \frac{N V c_p \rho (T_i - T_o)}{A_s}$$

donde:

- N: Número de renovaciones horarias de aire ( $s^{-1}$ ).  
 V: Volumen del invernadero ( $m^3$ ).  
 $\rho$ : densidad del aire ( $kg m^{-3}$ ).  
 $c_p$ : calor específico del aire a presión constante ( $J kg^{-1} K^{-1}$ ).

El consumo de combustible (F) por hora y por metro cuadrado de superficie de suelo cubierto por el invernadero es:

$$F = \frac{(q_c + q_r)}{\eta c_v}$$

donde:

- $\eta$ : rendimiento del calefactor y del combustible (adimensional).  
 $c_v$ : poder calorífico del combustible ( $J m^{-3}$ ).

Se despreciaron las pérdidas de calor por el suelo (Alpi y Tognoni, 1991).

Se desarrolló un programa en lenguaje Basic para el cálculo de F para la noche, en los dos meses más fríos (julio y agosto), dados la tempera-

tura exterior, los parámetros fijos de un invernadero, y las temperaturas óptimas requeridas por el tomate y el pimiento.

Los parámetros del invernadero utilizados fueron  $k = 5 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ , valor aproximado para cubiertas simples;  $A_c = 344 \text{ m}^2$ ;  $A_s = 180 \text{ m}^2$ ;  $V = 495 \text{ m}^3$  (dimensiones de un invernadero estándar);  $N = 0,75$  (renovaciones/hora).

En el rendimiento del calefactor se tuvieron en cuenta el del combustible (gas oil 0,7) y el del equipo de calefacción (en promedio 0,85), resultando  $h = 0,60$ . Para el tomate y pimiento se tomaron temperaturas óptimas nocturnas promedio de  $14,5^\circ\text{C}$  ( $287,5 \text{ K}$ ) y  $17^\circ\text{C}$  ( $290 \text{ K}$ ), respectivamente.

#### **Cálculo del consumo de combustible para distintas zonas de la Pampa Húmeda**

Se calculó el consumo de combustible por hora, promedio diario nocturno, para el tomate y pimiento, en las localidades de Rosario ( $60^\circ 30' \text{ W}$ ,  $32^\circ 40' \text{ S}$ ), Buenos Aires ( $57^\circ 40' \text{ W}$ ;  $34^\circ 30' \text{ S}$ ), Mar del Plata ( $57^\circ 20' \text{ W}$ ,  $38^\circ \text{ S}$ ) y Bahía Blanca ( $62^\circ 10' \text{ W}$ ,  $38^\circ 30' \text{ S}$ ).

Se utilizaron como temperaturas exteriores al invernadero las ambientales obtenidas de los registros por hora, proporcionados por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN, 1995), desde las 19:00 hasta las 07:00 horas inclusive, para los meses de julio y agosto.

Se recalculó el consumo de combustible anterior, incluyendo un polietileno como doble techo, a la altura de las paredes laterales, con el objeto de disminuir el volumen de aire a calefaccionar en un valor igual al espacio confinado entre el doble techo y la cumbrera, práctica común entre los productores (Alpi y Tognoni, 1991). De esta forma, la superficie de la cubierta resultó de  $301,8 \text{ m}^2$  y el volumen a calefaccionar de  $378 \text{ m}^3$ .

#### **Dependencia del consumo de combustible de los parámetros de construcción del invernadero**

Se realizó el análisis de la variación en el consumo de combustible por hora promedio mensual en función de la longitud del invernadero y de la renovación horaria, para los dos cultivos, en Rosario y Mar del Plata. Para ello se evaluaron los consumos de combustible por hora, promedio mensual, en julio y agosto, para valores de longitud del invernadero entre 20 y 100 m, para valores de  $k = 3,5 \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-1}$  y  $k = 5 \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-1}$ , correspondientes a doble y simple cámara de polietileno térmico de 150 micrones, y cortinas rompevientos respectivamente, y en invernaderos ubicados en la franja latitudinal que se extiende desde Mendoza a Buenos Aires (Valentini S.A. Comunicación personal.). Las temperaturas exteriores consideradas fueron los valores promedio para cada mes.

También se calculó el mismo consumo de combustible, para valores de renovaciones horarias  $N: 0,5$  (construcción nueva de doble polietileno);  $1,5$  (construcción segundo año con buen mantenimiento);  $2,5$  y  $3,5$  (valores representativos de construcción segundo año con mantenimiento deficiente); para los valores de  $k$  citados anteriormente.

#### **Análisis económico**

Se realizó la comparación entre los posibles ingresos a obtener con la producción bajo invernadero, con y sin calefacción. Los rendimientos utilizados son los mostrados en el Cuadro 1.

Se excluyó la localidad de Bahía Blanca, ya que debido a las bajas temperaturas existentes no es posible la producción sin calefacción. Se tomó un promedio de los precios del Mercado Central de la ciudad de Buenos Aires, en el período 1990-1994, extraídos del Anuario Estadístico de Comercio (Secretaría de Agricultura, Pesca y Alimentación, 1995). El precio del combustible (gas oil) fue de 0,439 pesos por litro (1 peso = 1 dólar estadounidense).

**Cuadro 1. Rendimientos de tomate y pimiento con calefacción y sin calefacción en las localidades de Rosario, Buenos Aires y Mar del Plata**

**Table 1. Tomato and pepper yields with and without heating in Rosario, Buenos Aires and Mar del Plata**

		Rosario kg m <sup>-2</sup>	Buenos Aires kg m <sup>-2</sup>	Mar del Plata kg m <sup>-2</sup>
<b>Tomate</b>	Con calefacción	16,5 <sup>1</sup>	16,0 <sup>2</sup>	14,5
	Sin calefacción	13,2 <sup>1</sup>	14,0 <sup>2</sup>	9,96 <sup>3</sup>
<b>Pimiento</b>	Con calefacción	11,0 <sup>2</sup>	11,0 <sup>2</sup>	10,0
	Sin calefacción	8,0 <sup>2</sup>	9,0 <sup>2</sup>	6,1 <sup>3</sup>

<sup>1</sup>Ferratto *et al.*, 1994; <sup>2</sup>INTA San Pedro (Comunicación personal Nora Francescangeli); <sup>3</sup>INTA Balcarce.

Se calcularon los ingresos brutos para un invernadero sin calefacción y con calefacción para las localidades de Rosario, Buenos Aires y Mar del Plata, multiplicando el rendimiento por el área cultivada y por el precio por kg del producto, según estimación para los meses de venta en el mercado, que son octubre, noviembre y diciembre. El calefactor utilizado para estos cálculos es un generador de aire caliente que genera 46.445 W que cubre los requerimientos energéticos de calefacción del invernadero considerado.

Para estimar la incidencia de los gastos de calefacción se recalculó el ingreso descontando los gastos inherentes a la misma: combustible, amortización del equipo de calefacción (en función de su vida útil de 10 años) y el interés del 5% (costo de oportunidad o ingreso que se deja de percibir al retirar un insumo limitante de una alternativa para asignarlo a otra, según Frank, 1987).

Para este análisis, las dimensiones del invernáculo que se consideraron fueron de una superficie de suelo cubierta  $A_s = 360 \text{ m}^2$ , el doble de la utilizada en los cálculos realizados anteriormente, ya que para dimensiones menores la inversión en calefacción no resulta rentable para los productores y para valores de  $k = 5 \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-1}$  y  $N = 0,75$ . Posteriormente se comparó el gasto de combustible entre las alternativas de

un invernadero con y sin doble techo, para observar la real incidencia de esta construcción en el ahorro de combustible.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Consumo de combustible para climatización nocturna

En el Cuadro 2 se presenta el consumo de combustible en los meses de julio y agosto y el total de ambos meses. Se observa una disminución que en orden decreciente correspondió a Mar del Plata, Bahía Blanca, Rosario y Buenos Aires. A latitudes más altas, debería ser mayor la demanda de calefacción, lo que se correlacionaría con una disminución de la temperatura con la latitud. Este comportamiento atípico se debe a que las series de temperaturas utilizadas corresponden al año 1995, en que los promedios en Bahía Blanca fueron mayores que en Mar del Plata. La producción con calefacción de estos cultivos es escalonada entre septiembre y diciembre, adelantándose cuatro meses a la producción a campo y un mes a la producción bajo cubierta sin calefaccionar.

En la Figura 1, en línea gruesa, se ilustra el consumo de combustible por hora (promedio diario nocturno) para tomate y pimiento en función de los días de julio y agosto, en Rosario. Como era de esperar, el consumo de combustible para el

**Cuadro 2. Comparación del consumo de combustible de tomate y pimiento en invernadero, en cuatro localidades, con o sin doble techo**

**Table 2. Comparison of fuel consumption of tomato and pepper under greenhouse conditions, in four localities, with and without double roofs**

	Consumo		
	Julio	Agosto	Total
<b>Rosario</b>			
Tomate			
Sin doble techo	723,55	689,70	1.413,25
Con doble techo	628,79	599,58	1.228,37
Pimiento			
Sin doble techo	983,46	915,73	1.899,19
Con doble techo	854,79	796,11	1.650,89
<b>Buenos Aires</b>			
Tomate			
Sin doble techo	529,04	477,43	1.006,47
Con doble techo	460,00	414,00	874,00
Pimiento			
Sin doble techo	789,56	707,46	1.497,02
Con doble techo	775,32	680,77	1.456,09
<b>Mar del Plata</b>			
Tomate			
Sin doble techo	1.107,24	912,27	2.019,51
Con doble techo	962,00	793,00	1.755,00
Pimiento			
Sin doble techo	1.377,47	1.172,74	2.550,21
Con doble techo	1.197,00	1.019,00	2.216,00
<b>Bahía Blanca</b>			
Tomate			
Sin doble techo	991,07	782,96	1.774,04
Con doble techo	861,00	681,00	1.542,00
Pimiento			
Sin doble techo	1.259,40	1.035,68	2.295,08
Con doble techo	1.095,00	900,00	1.995,00

cultivo de pimiento superó al del tomate, como respuesta a una temperatura óptima mayor. Así en Buenos Aires, el consumo para pimiento es un 32,77% mayor que el consumo para tomate; en Mar del Plata, un 20,81%; y en Bahía Blanca,

un 22,70%. Esto resulta de utilidad para evaluar en cada zona, cuál es la variación en el consumo de combustible, en el caso de cambiar los cultivos.

**Consumo de combustible con incorporación de un doble techo en el invernadero**

En el Cuadro 2 se pueden apreciar los consumos con doble techo, durante julio y agosto y el total para ambos meses. En la Figura 1 se observa, en línea fina, el consumo de combustible por hora (promedio diario nocturno) con doble techo para tomate y pimiento en función de los días de julio y agosto, en Rosario. Resulta evidente una disminución en el consumo de combustible con la incorporación de un doble techo. De estos resultados, se puede inferir un ahorro de combustible con el doble techo de un 13,5%. Este valor corresponde al porcentaje de la diferencia entre ambos consumos, respecto al consumo sin doble techo. Se considera mínimo, ya que no se tuvo en cuenta la disminución del coeficiente  $k$  como consecuencia de la estanqueidad del aire encerrado entre el doble techo y la cumbrera, aunque muy cercano a la realidad, dado el tipo de construcción de invernaderos en nuestro país. En una experiencia realizada por Carrasco *et al.* (1985) se demostró que la doble capa disminuye las pérdidas de calor por convección en un 70%, comparada con la capa simple, lo cual es suficiente para mantener el invernadero en 2°C sobre la temperatura mínima exterior.

**Consumo de combustible para distintos valores de longitud del invernadero**

En la Figura 2 se grafica el consumo de combustible por hora, promedio mensual, en función de la longitud del invernadero, para tomate y pimiento en Rosario, considerando como parámetros fijos la temperatura exterior (promedio mensual) y el número de renovaciones horarias y dos valores fijos de  $k$  (3,5 y 5  $Wm^{-2} K^{-1}$ ). El consumo de combustible resultó ser una función lineal de la longitud del invernadero. Puede observarse que la variación en el consumo por

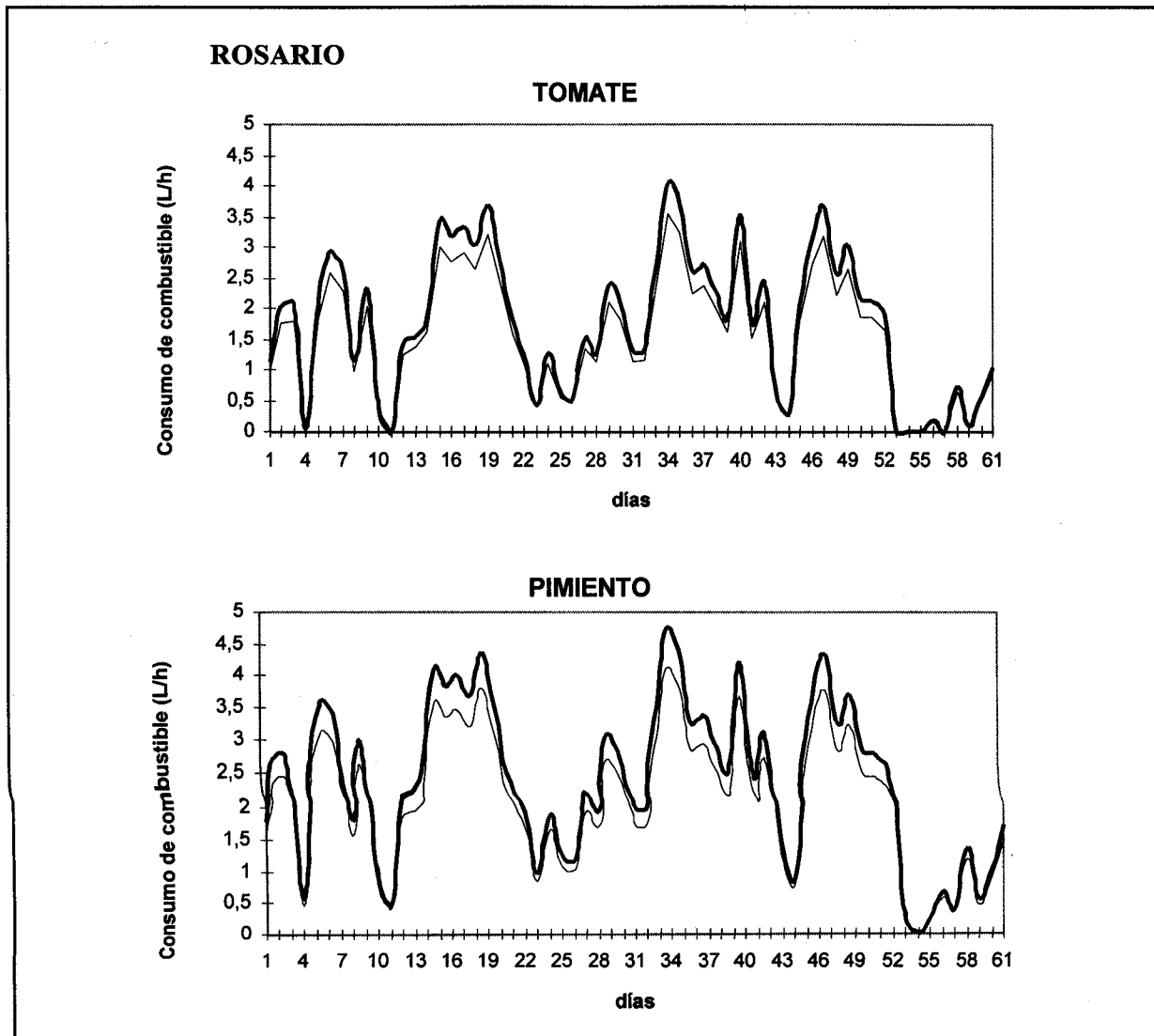


Figura 1. Consumo de combustible (L/h) promedio diario nocturno, para tomate y pimienta, en la localidad de Rosario.  
Figure 1. Nocturnal average fuel consumption (L/h) for tomato and pepper in Rosario.

unidad de longitud del invernadero (pendiente de la recta) aumenta para valores de  $k$  mayores. El ahorro en el consumo de combustible para ambos cultivos y localidades resultó ser del 27,5% para  $k = 3,5 \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-1}$  respecto de  $k = 5 \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-1}$ .

#### Consumo de combustible para distintos valores del número de renovaciones horarias

En la Figura 3 se grafica el consumo de combustible por hora en función de la renovación horaria

$N$ , para valores entre 0,5 y 3,5. Corresponden a la localidad de Rosario, para tomate y pimienta, con los valores de  $k$  antes mencionados. Se consideraron como parámetros fijos la temperatura exterior (promedio mensual) y el volumen del invernadero de  $495 \text{ m}^3$ .

La relación entre el consumo y la renovación horaria es de carácter lineal. La pendiente es independiente de  $k$ , con lo cual la variación del consumo con el número de renovaciones es la misma, mientras que la ordenada al origen de-

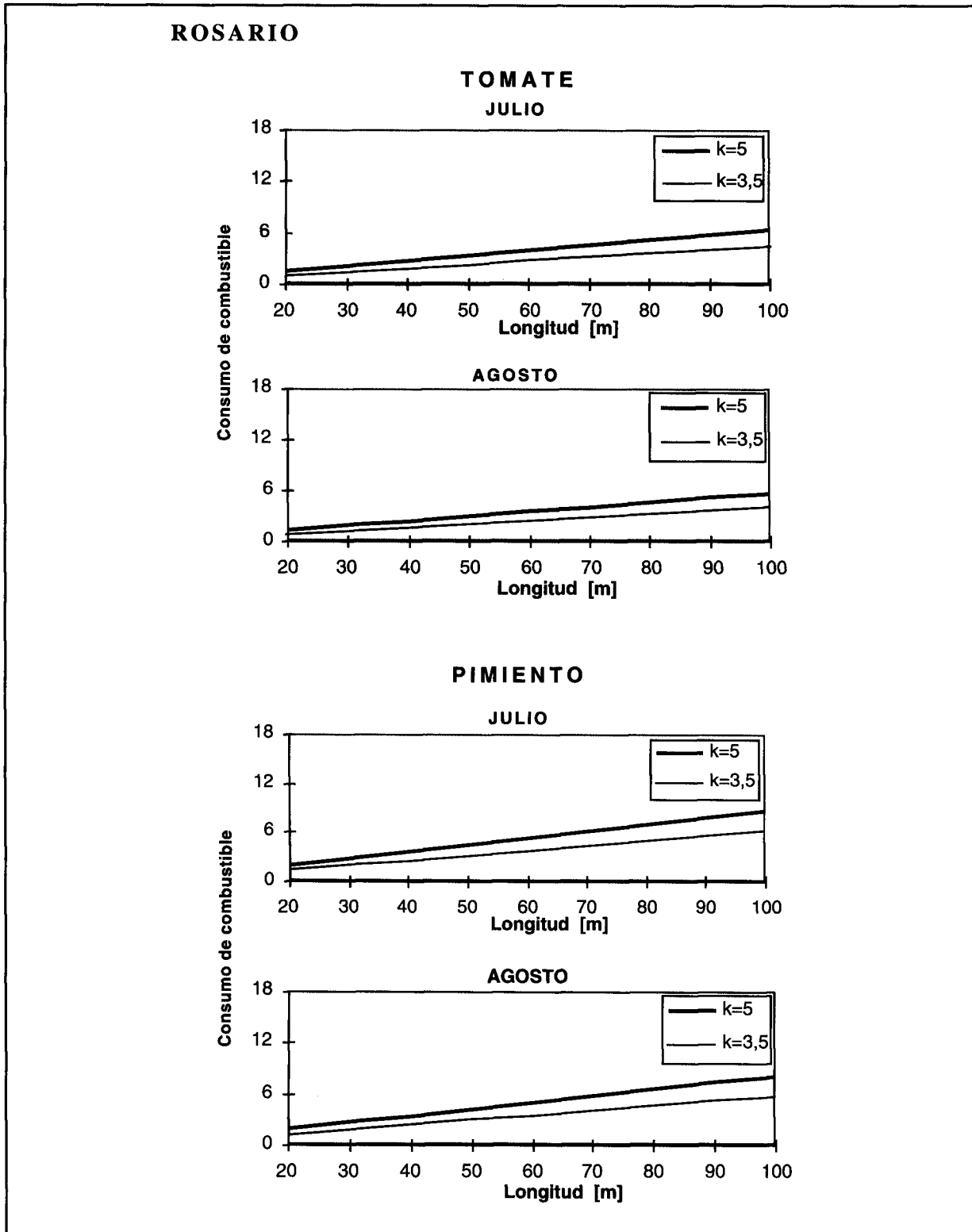


Figura 2. Consumo de combustible (L/h) por hora promedio mensual, en función de la longitud del invernadero, en Rosario.

Figure 2. Average fuel consumption (L/h) on a monthly basis, related to greenhouse length in Rosario.

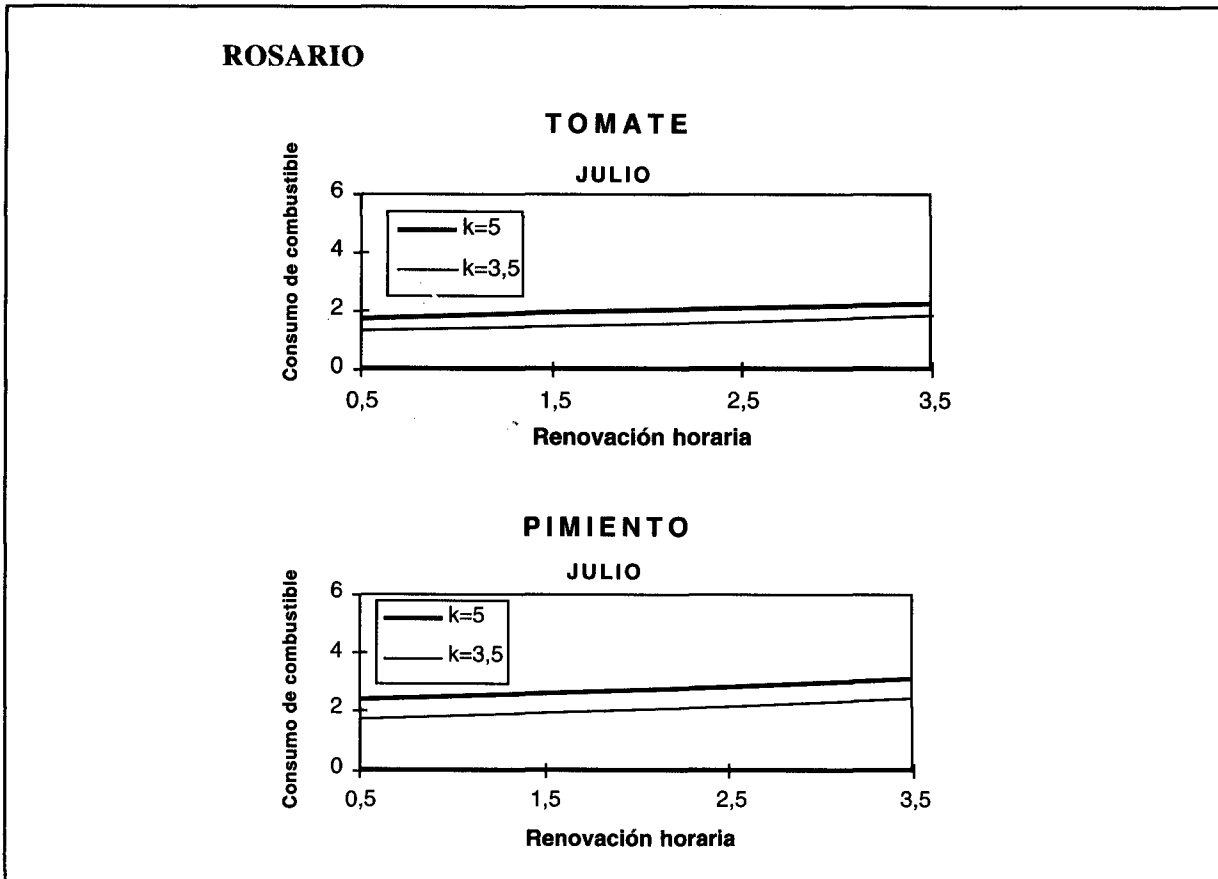


Figura 3. Consumo de combustible (L/h) promedio mensual, en función de la renovación horaria, para tomate y pimiento, en Rosario.

Figure 3. Average fuel consumption (L/h) on a monthly basis, related to air renovation in tomato and pepper in Rosario.

pende del valor de  $k$ . Dentro del rango considerado, la renovación horaria presentó débil incidencia en la variación de consumo de combustible (las pendientes son muy pequeñas). Comparando con la Figura 2, se puede inferir que el parámetro longitud del invernadero es más sensible a la variación del consumo que el número de renovaciones horarias.

### Análisis económico

En el análisis económico se consideraron las situaciones de producción en invernaderos con calefacción y sin calefacción, para tomate y pimiento, en Rosario, Buenos Aires, y Mar del Plata (Cuadro 3). Así, se consideró el ingreso bruto sin calefacción (columna 1), el ingreso

bruto con calefacción (columna 2), el ingreso con calefacción descontados los gastos derivados de esta tecnología (columna 3), y en la columna 4 idéntico análisis que para la columna 3, pero con la incorporación del doble techo en la construcción. En la Figura 4 se pueden observar los ingresos mencionados, por localidad y cultivo. El valor del ingreso bruto con calefacción es diferente en las tres localidades, debido al efecto de las temperaturas exteriores sobre el rendimiento, durante el tiempo que no se calefacciona. Los valores de ingreso, en los que se encuentran descontados los gastos inherentes a la calefacción, presentan variaciones en las distintas localidades, debido a la incidencia del gasto de combustible. Así, para el cultivo de tomate, puede verse que el menor ingreso se obtiene en



Mar del Plata, lo que implica que es en esta localidad donde ocurre el mayor gasto de combustible, correlacionado con las menores temperaturas observadas. En orden decreciente siguen, Bahía Blanca, Rosario y Buenos Aires, esta última con el menor consumo de combustible al haberse dado en el año considerado las mayores temperaturas.

Para el caso del pimiento se observa la misma tendencia que para el cultivo de tomate, con la diferencia de que, al ser mayor el precio del pimiento, los ingresos obtenidos en todos los casos son mayores.

### CONCLUSIONES

El consumo de combustible en invernaderos calefaccionados con doble techo depende de las variaciones de temperatura, observándose una reducción entre el 13 y 13,5%, respecto a la situación sin doble techo. Esta disminución determina una estimación mínima del ahorro energético, dado que no se tuvo en cuenta la disminución del coeficiente  $k$ , como consecuencia de la estanqueidad del aire encerrado entre el doble techo y la cumbre, aunque puede considerarse muy cercano a la realidad, dado el tipo de construcción del invernadero en nuestro

país. Si además se tiene en cuenta que el productor que invierte en calefacción, en general posee más de un invernáculo en producción, la disminución en el gasto de combustible es más apreciable.

La variación del consumo energético respecto de la longitud depende del coeficiente de transmisión total  $k$ , con lo cual esta variación resulta ser mayor para valores de  $k$  mayores. Es decir, para coberturas con  $k$  pequeño, un aumento pequeño en la longitud del invernadero no representa un cambio sustancial en el consumo de combustible.

La variación en el consumo de combustible con el número de renovaciones horarias de aire no es significativa para el modelo utilizado. De aquí se infiere la mayor importancia de la pérdida de calor a través de la cubierta por conducción, convección y radiación, que pérdidas por fuga o renovación de aire debido a la falta de hermeticidad del invernadero.

En el análisis económico, se puede inferir para el tomate, en Rosario, un aumento en los ingresos del 12,2% utilizando la calefacción y descontados sus gastos, y un 18% si además se incluye el doble techo. Para el pimiento, en la misma

**Cuadro 3. Comparación del ingreso (\$) de tomate y pimiento en invernadero, con y sin calefacción, con doble techo, en tres localidades**

**Table 3. Comparison of tomato and pepper income in double-roofed greenhouses, with and without heating, in three localities**

Localidades	Tomate				Pimiento			
	1	2	3	4	1	2	3	4
Rosario	2.803	4.765	3.146	3.309	2.960	5.949	3.903	4.121
Buenos Aires	2.669	4.619	3.359	3.475	3.549	6.036	4.344	4.517
Mar del Plata	1.899	4.208	2.056	2.476	2.406	5.486	2.867	3.355

1. Ingreso bruto sin calefacción.

2. Ingreso bruto con calefacción.

3. Ingreso con calefacción, descontados los gastos propios.

4. Ingreso con calefacción, descontados los gastos propios y doble techo.

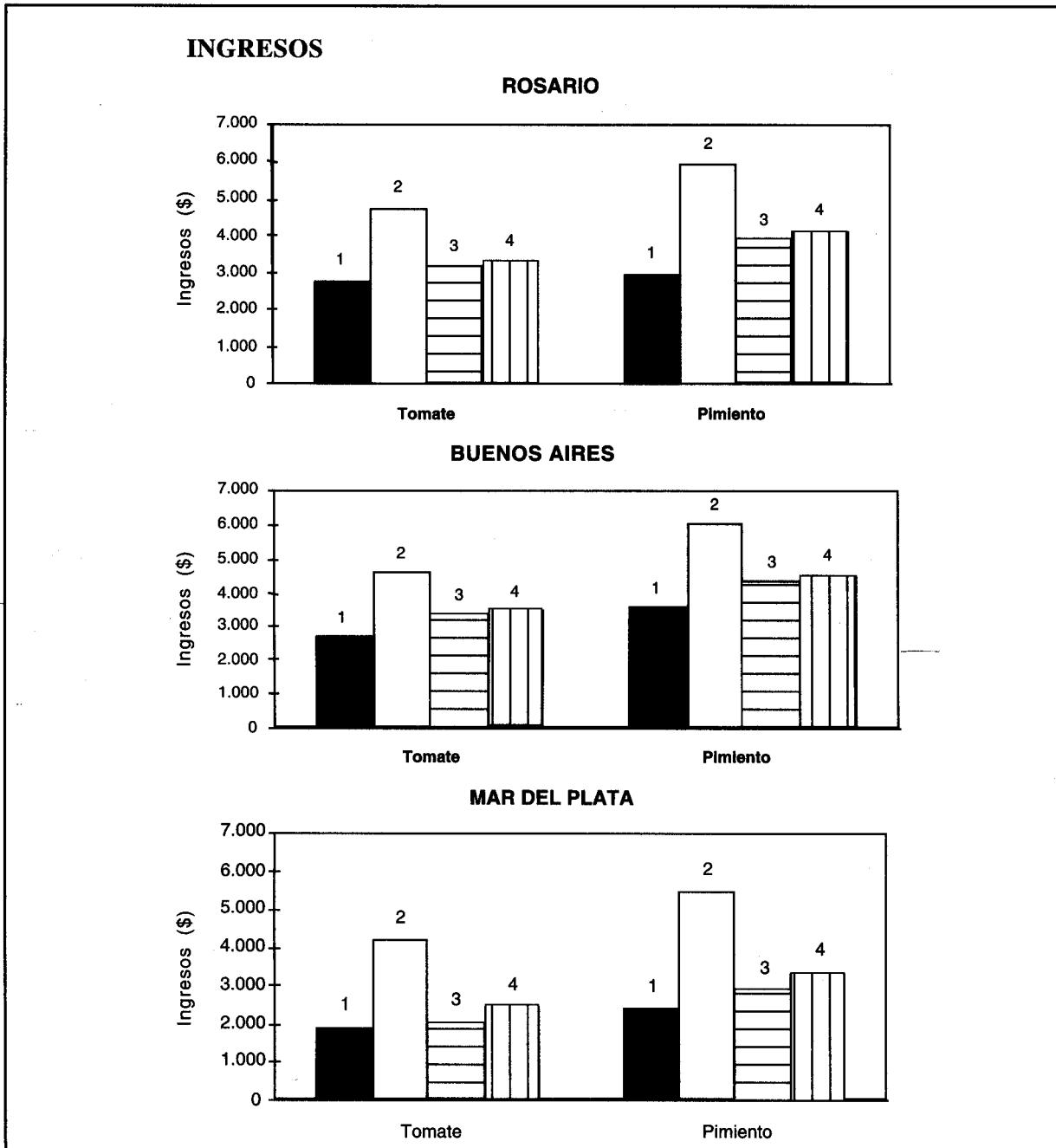


Figura 4. Ingreso de tomate y pimiento, en invernadero con y sin calefacción, con y sin doble techo, en tres localidades.

1. Ingreso bruto sin calefacción.
2. Ingreso bruto con calefacción.
3. Ingreso con calefacción, descontado los gastos propios de la misma.
4. Idem 3, con incorporación del doble techo.

Figure 4. Gross income of tomato and pepper in greenhouse with and without heating, with and without double roofs, in three localities.

1. Gross income without heating.
2. Gross income with heating.
3. Income with heating, deducting heating costs.
4. Like 3 but with double roofs included.

región, se observa un 31,8% y un 39,2% respectivamente. Este beneficio en el ingreso se atribuye a una mayor cantidad y calidad de la producción obtenida, y a la anticipación de la misma al mercado. Esta anticipación de la producción con

calefacción influye en el precio obtenido en el mercado, ya que se vende una mayor cantidad del producto en meses donde el precio es más elevado.

## RESUMEN

Las bajas temperaturas nocturnas durante los meses de invierno en la Pampa Húmeda de Argentina, constituye una de las limitantes en la producción de ciertos cultivos. Se hace necesario su protección bajo cubierta con calefacción para mantener un gradiente de temperaturas entre la interior (óptima del cultivo) y la exterior. Resulta de interés evaluar los costos que acarrea la implementación de un sistema de calefacción. En este trabajo se realizó un estudio del consumo de combustible necesario para calefacción nocturna de invernaderos con cultivos de tomate y pimiento, para los meses de julio y agosto, en las localidades de Rosario, Buenos Aires, Mar del Plata y Bahía Blanca. Se aplicó un modelo sencillo que tuvo en cuenta las pérdidas de calor por convección, conducción y radiación, con parámetros fijos de la estructura del invernadero, utilizando datos de temperatura exterior. Se determinó que con la incorporación de un doble

techo en el invernadero, se produce un ahorro en el consumo de combustible de aproximadamente el 13,5%, respecto de techo simple. Se observó un ahorro en el consumo del 27,5% para un coeficiente de transmisión total  $k = 3,5 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$  respecto de  $k = 5 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ . El consumo de combustible no varió apreciablemente con el número de renovaciones horarias de aire dentro del invernadero, y se observaron variaciones en el consumo para cada localidad, relacionadas con su ubicación geográfica. Se observaron aumentos en los ingresos para ambos cultivos utilizando la calefacción, que se atribuyen a una mayor cantidad y calidad de la producción obtenida, y la llegada anticipada al mercado.

**Palabras clave:** invernadero, sistema de calefacción, tomate, pimiento, *Lycopersicon esculentum*, *Capsicum annum*.

## LITERATURA CITADA

- ALPI, A. Y TOGNONI, F. 1991. Cultivo en invernadero. Mundi-Prensa. Madrid, España. p. 65-67.
- CARRASCO, O.; OSSANDON, E.; VILLA, R. Y ACEVEDO, E. 1985. Balance energético en invernaderos de polietileno. Sociedad Agronómica de Chile. Santiago, Chile. Simiente 55 (1-2): 68-75.
- FERRATTO, J.; FRANCESANGELLI, N.; MARCOZZI, P. Y ROSANIA, A. 1994. Evaluación económica de la calefacción de tomate en invernadero, para la zona norte de Buenos Aires y sur de Santa Fe. Revista Di Agricultura Subtropicale e Tropicale 88 (4): 753-766.
- FRANK, R. 1987. Introducción al cálculo de costos agropecuarios. El Ateneo. Buenos Aires, Argentina. p. 5-24.

- GARIGLIO, N.; PEREZ, L. Y PILATTI R. 1989. Acción de temperaturas de congelamiento sobre plantas de pimiento. Facultad de Agronomía y Veterinaria de Esperanza. Provincia de Santa Fe, Argentina. Nº 4. p. 40-46.
- GARIGLIO, N.F.; PILATTI, R.A. Y GRENÓN, D.A. 1994. Inversim. Modelo para simular las necesidades de calefacción y ventilación en invernaderos. VI Congreso Latinoamericano de Horticultura. Huerta Grande, Córdoba, Argentina. ASAGO. 26 al 30 de septiembre. Libro de Resúmenes. p. 22.
- INTA BALCARCE Y SAG Y P. 1994. Instituto de Tecnología Agropecuaria y Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca. Censo Hortícola en el partido de General Pueyrredón, Provincia de Buenos Aires. Argentina. 20 p.
- INTA RAFAELA Y SAG Y P. 1995. Censo Hortícola en el departamento San Jerónimo, Provincia de Santa Fe. Argentina. 20 p.
- NIJSKENS, J.; DELTOUR, J.; COUTISSE, S. AND NISEN, A. 1984. Heat transfer through covering materials of greenhouses. Agriculture and Forest Meteorology 33: 193-214.
- NOTO, G. 1984. La carpogènesi del peperone in condizione termiche sub-ottimali. Italia. Colture Protette 7: 53-59.
- ROBERTS, W.; BARTOK, J.; FABIAN, E. AND SIMPKINS, J. 1985. Energy conservation for commercial greenhouses. NRAES 3 North Atlantic Region Agricultural Engineering Service. Ithaca, New York. USA. 42 p.
- RYLSKI, Y. AND SPIGELMAN, M. 1992. Effects of different diurnal temperature combinations on fruit set of sweet pepper. Sci. Hort. 17: 101-106.
- SAG Y P. 1995. Productos no tradicionales. Anuario Estadístico de Comercio. Buenos Aires, Argentina.
- SMN. 1995. (SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL). Fuerza Aérea Argentina. Registros horarios de temperatura.
- WANN, M.; YEN, D. AND GOLD, H. 1985. Evaluation and calibration of three models for daily cycle of air temperature. Agriculture and Forest Meteorology 34 (2-3): 121-128.