



SIMICROC

MODELO DE SIMULACIÓN DEL MICROCLIMA DE UN INVERNADERO

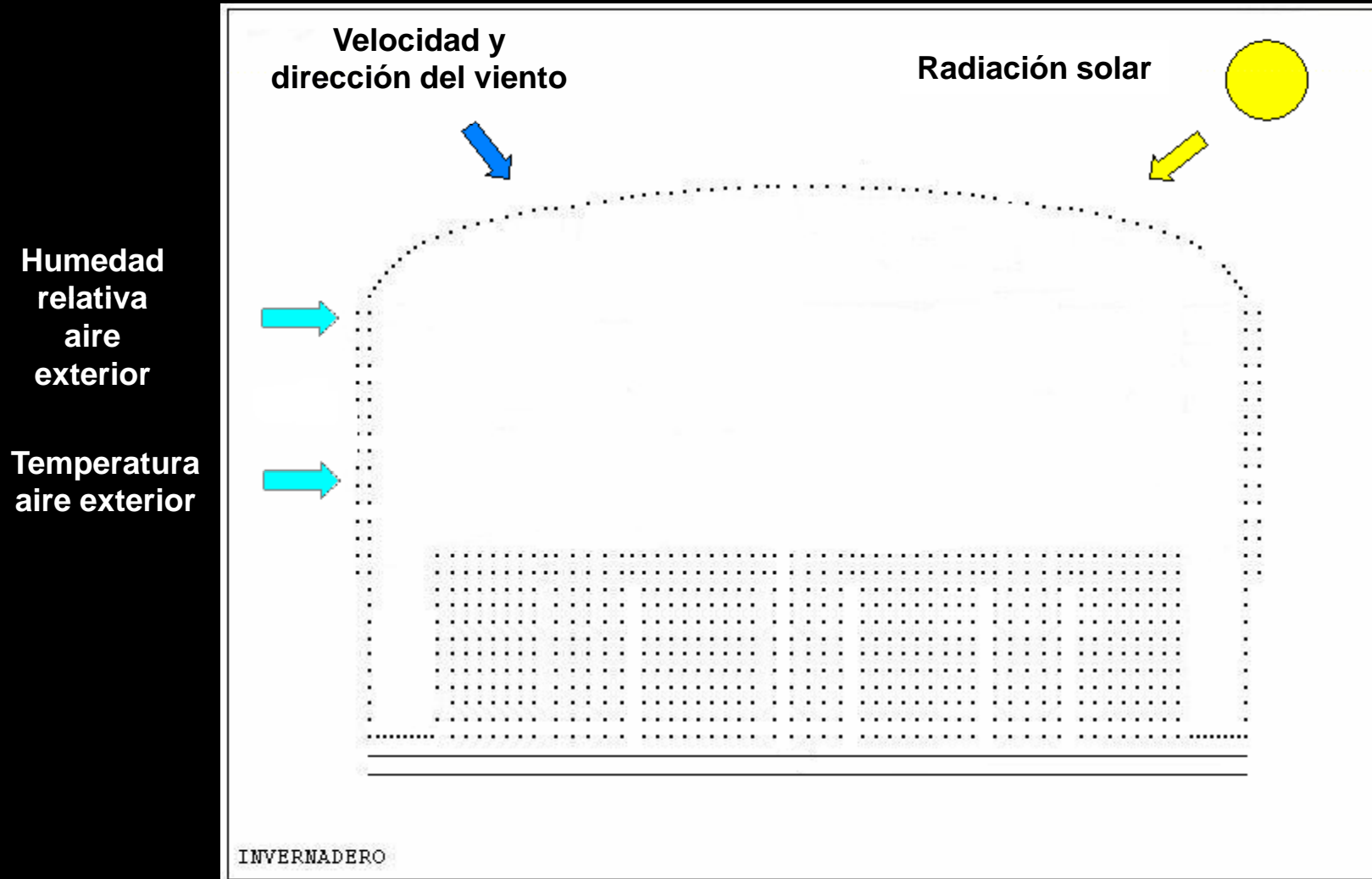
**Leyde Briceño, Ramón Jaimez,
Manuel Ávila, Wilmer Espinoza**

OBJETIVO GENERAL

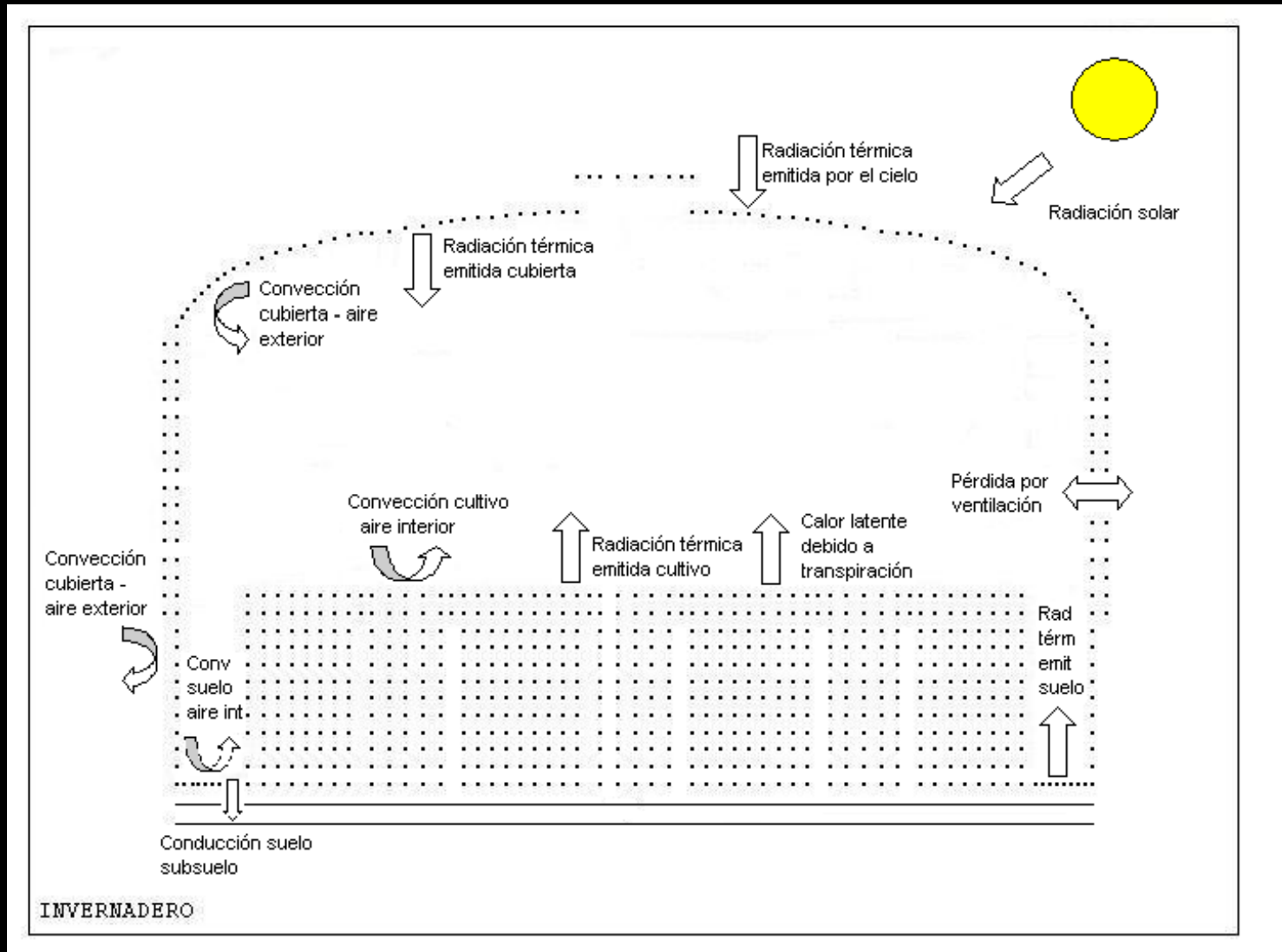
Modelar y simular el microclima de un invernadero en estudio, naturalmente ventilado, ubicado en el Instituto de Investigaciones Agropecuarias de la Universidad de los Andes



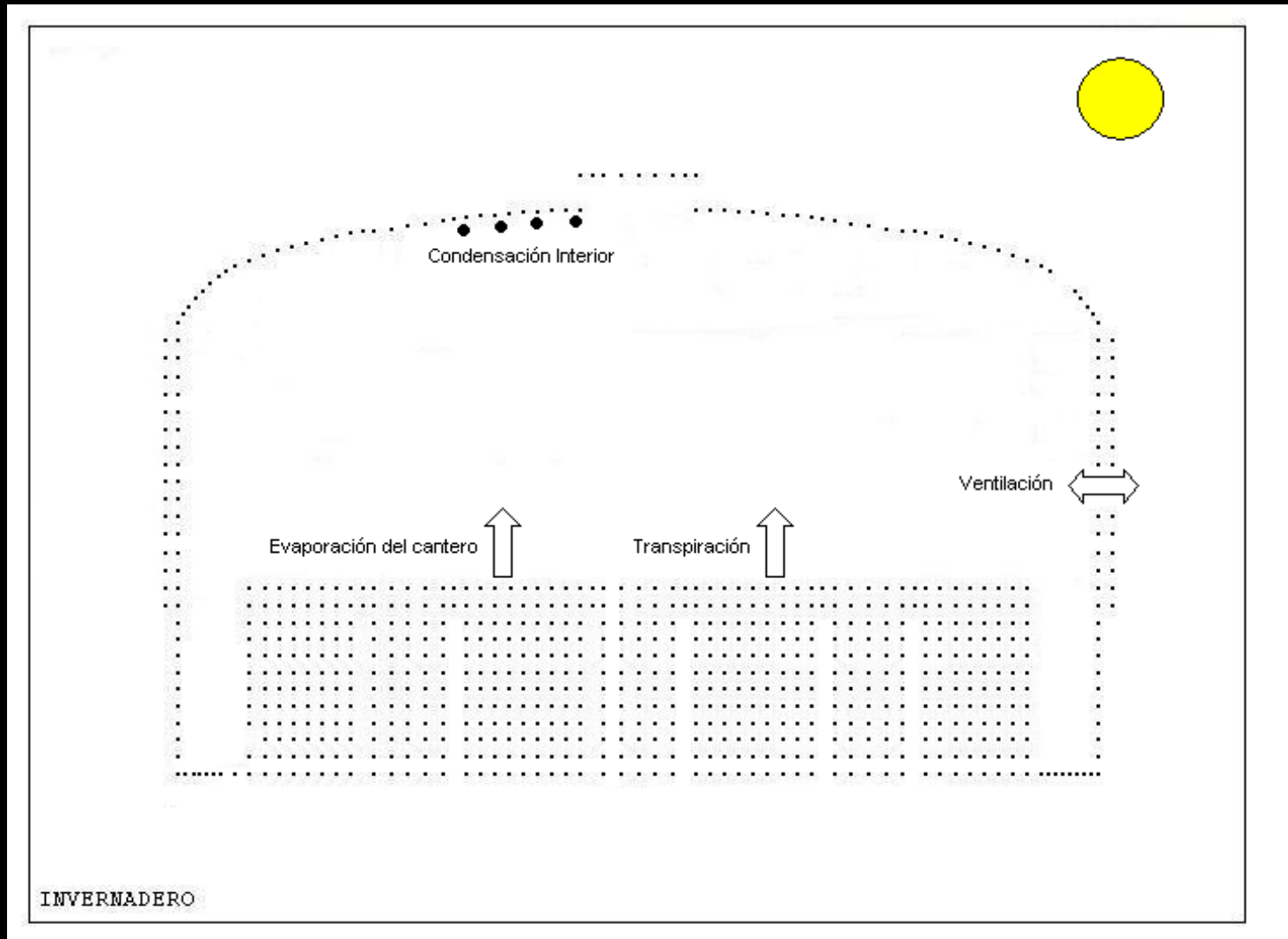
EL INVERNADERO COMO UN SISTEMA



BALANCE DE ENERGÍA



BALANCE DE HUMEDAD



SISTEMA DE ECUACIONES

Balance de energía en la cubierta:

$$Q_{RSOLAR} + Q_{RTERMICA} - Q_{CONVINTERIOR} - Q_{CONVEXTERIOR} = ESCUB * CPCUB * DAIR * \frac{dVW}{dt}$$

Balance de energía en el cultivo:

$$Q_{RSOLAR} + Q_{RTERMICA} - Q_{SENSIBLE} - Q_{LATENTE} = ESHOJ * CPCUL * DAIR * \frac{dVX}{dt}$$

Balance de energía en el aire interior:

$$Q_{CONVCUBINT} + Q_{CONVCULTIN} + Q_{CONVSUEINT} + Q_{LATENTE} - Q_{VENTL} = \frac{CPAIR * DAIR * V}{ASUET} * \frac{dVY}{dt}$$

Balance de energía en el suelo:

$$Q_{RSOLAR} + Q_{RTERMICA} - Q_{CONVSUEINT} - Q_{COND} = CPSUE * ZP * \frac{dVZ}{dt}$$

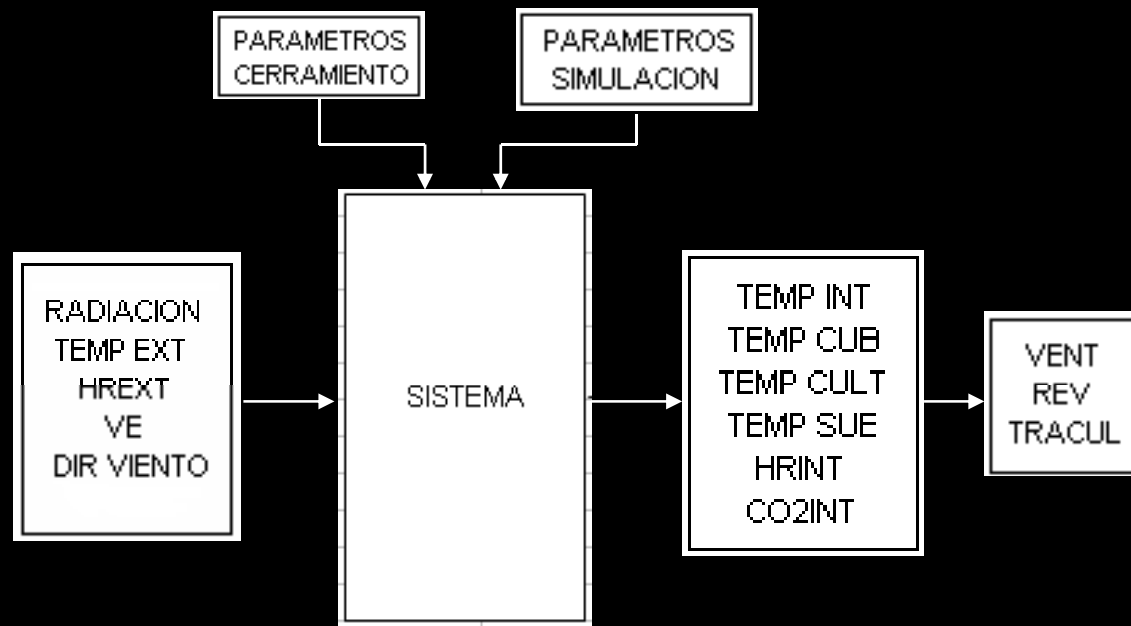
Balance de masa en el aire interior:

$$VENT + EVAP_{CANTERO} + TRACUL = \frac{DAIR * V}{ASUET} * \frac{dVV}{dt}$$

SOLUCION NUMERICA

- Método predictor-corrector
Adams-Bashforth-Moulton
- Runge de Kutta

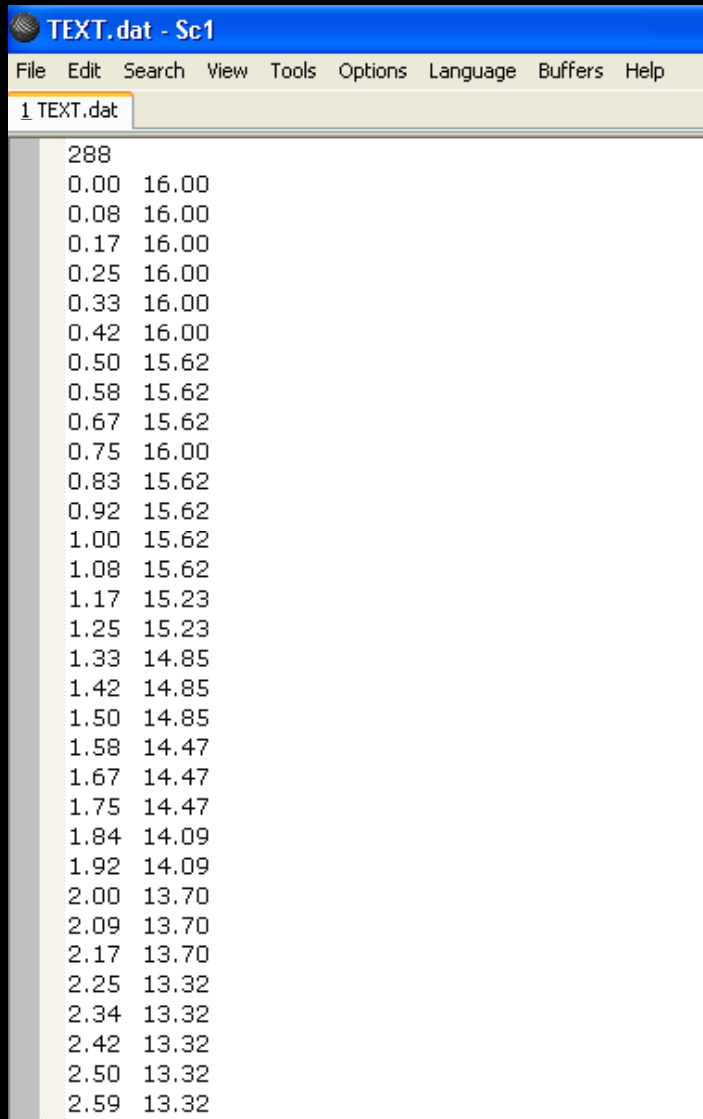
DIAGRAMA DE BLOQUE SIMPLIFICADO



SOFTWARE LIBRE

- Compilador G77 de la GNUplot para MSDOS
- Graficador GNUPLOT 3.7

PANTALLAS CON DATOS DE ENTRADA

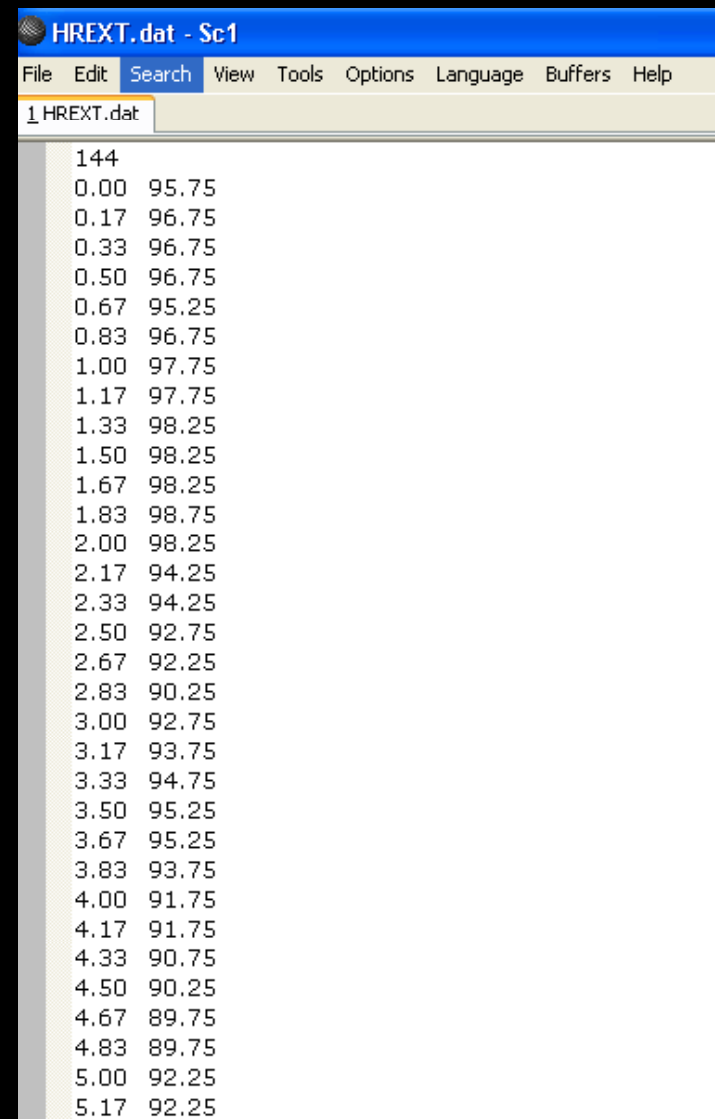


TEXT.dat - Sc1

File Edit Search View Tools Options Language Buffers Help

1 TEXT.dat

288	
0.00	16.00
0.08	16.00
0.17	16.00
0.25	16.00
0.33	16.00
0.42	16.00
0.50	15.62
0.58	15.62
0.67	15.62
0.75	16.00
0.83	15.62
0.92	15.62
1.00	15.62
1.08	15.62
1.17	15.23
1.25	15.23
1.33	14.85
1.42	14.85
1.50	14.85
1.58	14.47
1.67	14.47
1.75	14.47
1.84	14.09
1.92	14.09
2.00	13.70
2.09	13.70
2.17	13.70
2.25	13.32
2.34	13.32
2.42	13.32
2.50	13.32
2.59	13.32



HREXT.dat - Sc1

File Edit Search View Tools Options Language Buffers Help

1 HREXT.dat

144	
0.00	95.75
0.17	96.75
0.33	96.75
0.50	96.75
0.67	95.25
0.83	96.75
1.00	97.75
1.17	97.75
1.33	98.25
1.50	98.25
1.67	98.25
1.83	98.75
2.00	98.25
2.17	94.25
2.33	94.25
2.50	92.75
2.67	92.25
2.83	90.25
3.00	92.75
3.17	93.75
3.33	94.75
3.50	95.25
3.67	95.25
3.83	93.75
4.00	91.75
4.17	91.75
4.33	90.75
4.50	90.25
4.67	89.75
4.83	89.75
5.00	92.25
5.17	92.25

EJECUTABLE

```
C:\SIMICROC\SIMICROC.exe
SIMULACION MICROCLIMA DE INVERNADERO

CULTIVO SIMULADO:TOMATE
ALTURA DEL CULTIVO= 1 METRO
NUMERO DE PLANTAS=232

INFORMACION PARA INICIAR LA SIMULACION
INDIQUE HORA INICIAL ENTRE 0h Y 23h
0
INDIQUE MIN INICIAL 0 MIN Y 59 MIN
0
INDIQUE HORA FINAL ENTRE 0 Y 23
23
INDIQUE MIN FINAL ENTRE 0 MIN Y 59 MIN
59
INDIQUE INCREMENTO DEL TIEMPO ENTRE 2 MIN Y 6 MIN
3

INDIQUE MES ENTRE 1 Y 12
7
INDIQUE DIA DEL MES ENTRE 1 Y 31
18
```

Pantalla inicial de
identificación del programa

Se indica, latitud norte del
lugar, espesor de la cubierta y
dimensiones del invernadero

```
C:\SIMICROC\SIMICROC.exe
INDIQUE LATITUD DEL LUGAR DONDE SE ENCUENTRA EL INVERNADERO
GRADOS
8
MINUTOS
37
SEGUNDOS
0

INDIQUE ESPESOR MATERIAL DE LA CUBIERTA:<micras>
150

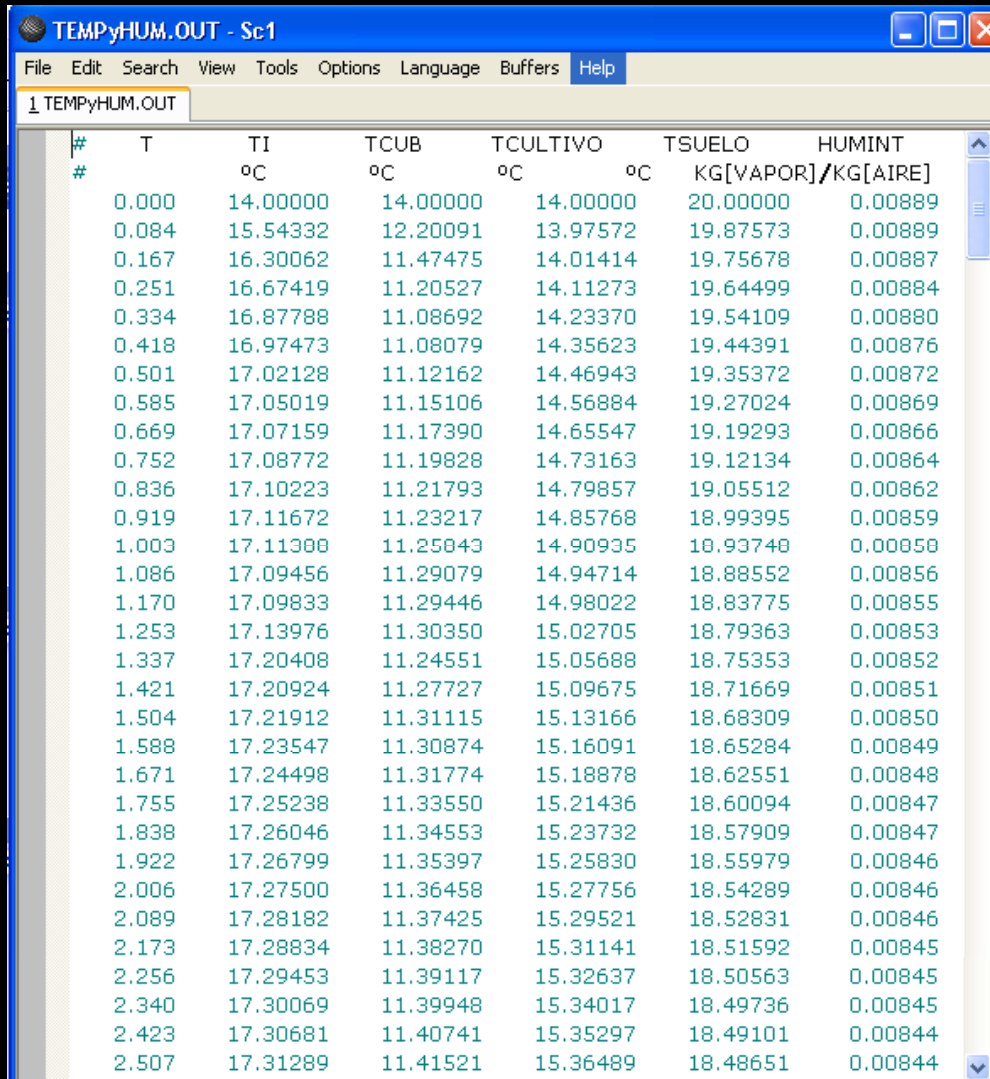
INDIQUE ANCHO DEL INVERNADERO:<m>
9
INDIQUE LARGO DEL INVERNADERO:<m>
18
INDIQUE ALTURA LATERAL:<m>
4
INDIQUE ALTURA MAXIMA DEL INVERNADERO:<m>
6
```

EJECUTABLE

```
C:\SIMICROC\SIMICROC.exe
CASO 1:LAS VENTANAS LATERALES TIENEN SOLO MALLA FIJA
CASO 2:LAS VENTANAS LATERALES TIENEN MALLA ENROLLABLE Y PLASTICO FIJO
INDIQUE NUMERO DE CASO 1 o 2
1
INDIQUE APERTURA DE VENTANA CENITAL:<0-0.5>m
0.1
VALOR DE LAS VARIABLES PARA LA HORA INICIAL
INDIQUE VALOR INICIAL DE HUMEDAD RELATIVA<%>:
95
INDIQUE VALOR INICIAL TEMPERATURA DE CUBIERTA<GC>:
15
INDIQUE VALOR INICIAL TEMPERATURA DE CULTIVO<GC>:
15
INDIQUE VALOR INICIAL TEMPERATURA AIRE INTERIOR<GC>:
15
INDIQUE VALOR INICIAL DE CO2 EN AIRE INTERIOR<PPM>:
380
INDIQUE PORCENTAJE DE HUMEDAD EN SUSTRATO:<%>
50_
```

Se selecciona el tipo de configuración de ventanas y los valores iniciales estimados de las variables de acuerdo al tiempo de simulación

ARCHIVOS DE RESULTADOS

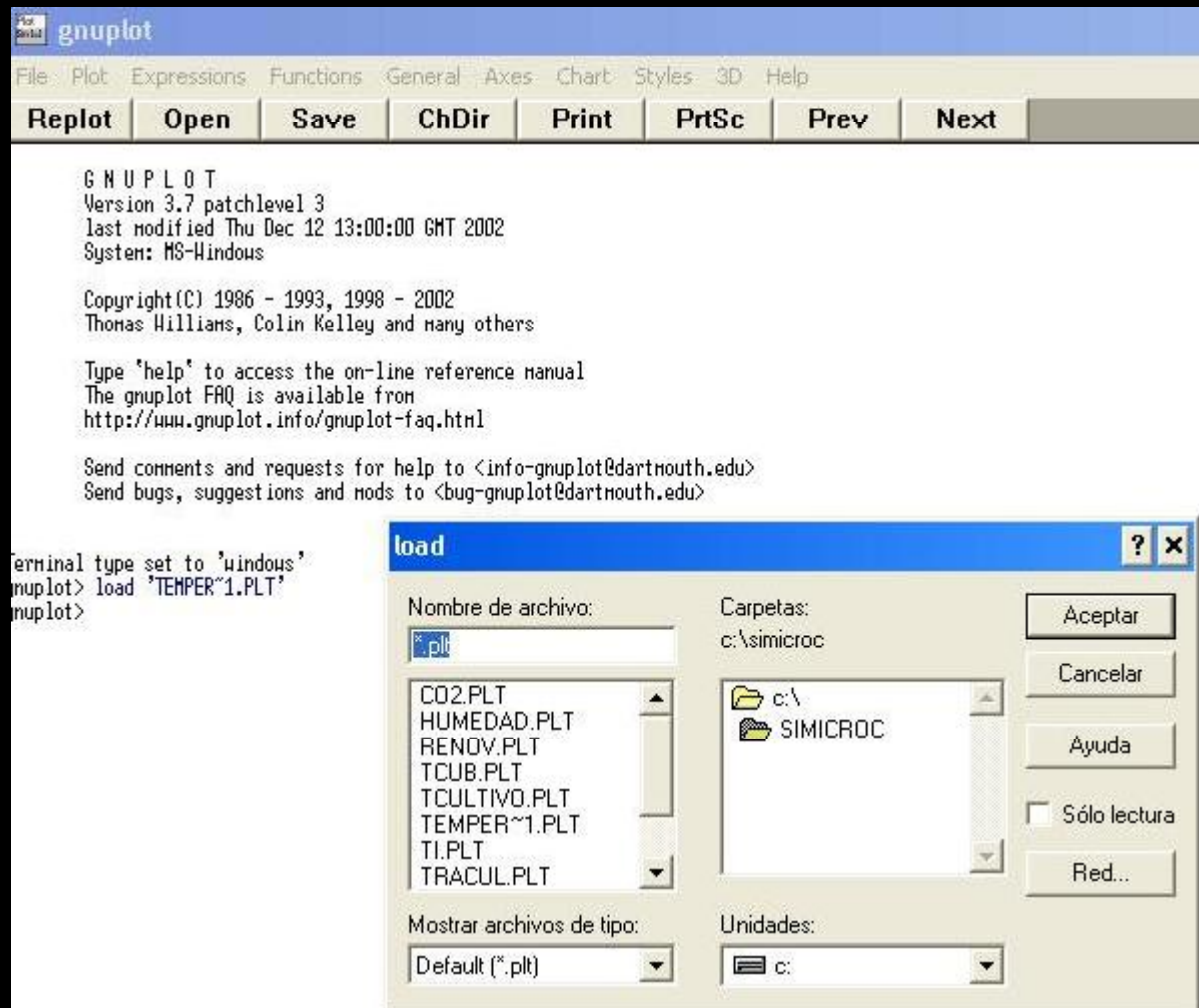


#	T	TI	TCUB	TCULTIVO	TSUELO	HUMINT
#		°C	°C	°C	KG[VAPOR]/KG[AIRE]	
0.000	14.00000	14.00000	14.00000	14.00000	20.00000	0.00889
0.084	15.54332	12.20091	13.97572	19.87573	0.00889	
0.167	16.30062	11.47475	14.01414	19.75678	0.00887	
0.251	16.67419	11.20527	14.11273	19.64499	0.00884	
0.334	16.87788	11.08692	14.23370	19.54109	0.00880	
0.418	16.97473	11.08079	14.35623	19.44391	0.00876	
0.501	17.02128	11.12162	14.46943	19.35372	0.00872	
0.585	17.05019	11.15106	14.56884	19.27024	0.00869	
0.669	17.07159	11.17390	14.65547	19.19293	0.00866	
0.752	17.08772	11.19828	14.73163	19.12134	0.00864	
0.836	17.10223	11.21793	14.79857	19.05512	0.00862	
0.919	17.11672	11.23217	14.85768	18.99395	0.00859	
1.003	17.11300	11.25043	14.90935	18.93740	0.00858	
1.086	17.09456	11.29079	14.94714	18.88552	0.00856	
1.170	17.09833	11.29446	14.98022	18.83775	0.00855	
1.253	17.13976	11.30350	15.02705	18.79363	0.00853	
1.337	17.20408	11.24551	15.05688	18.75353	0.00852	
1.421	17.20924	11.27727	15.09675	18.71669	0.00851	
1.504	17.21912	11.31115	15.13166	18.68309	0.00850	
1.588	17.23547	11.30874	15.16091	18.65284	0.00849	
1.671	17.24498	11.31774	15.18878	18.62551	0.00848	
1.755	17.25238	11.33550	15.21436	18.60094	0.00847	
1.838	17.26046	11.34553	15.23732	18.57909	0.00847	
1.922	17.26799	11.35397	15.25830	18.55979	0.00846	
2.006	17.27500	11.36458	15.27756	18.54289	0.00846	
2.089	17.28182	11.37425	15.29521	18.52831	0.00846	
2.173	17.28834	11.38270	15.31141	18.51592	0.00845	
2.256	17.29453	11.39117	15.32637	18.50563	0.00845	
2.340	17.30069	11.39948	15.34017	18.49736	0.00845	
2.423	17.30681	11.40741	15.35297	18.49101	0.00844	
2.507	17.31289	11.41521	15.36489	18.48651	0.00844	

ARCHIVOS DE SALIDA:

1. TEMPyHUM.OUT
2. HUMEDAD.OUT
3. VENTILACION.OUT
4. TIEMPO_EJECUCION.OUT

GRAFICADOR



CALIBRACION Y VALIDACION

**Datos
Calibración:**

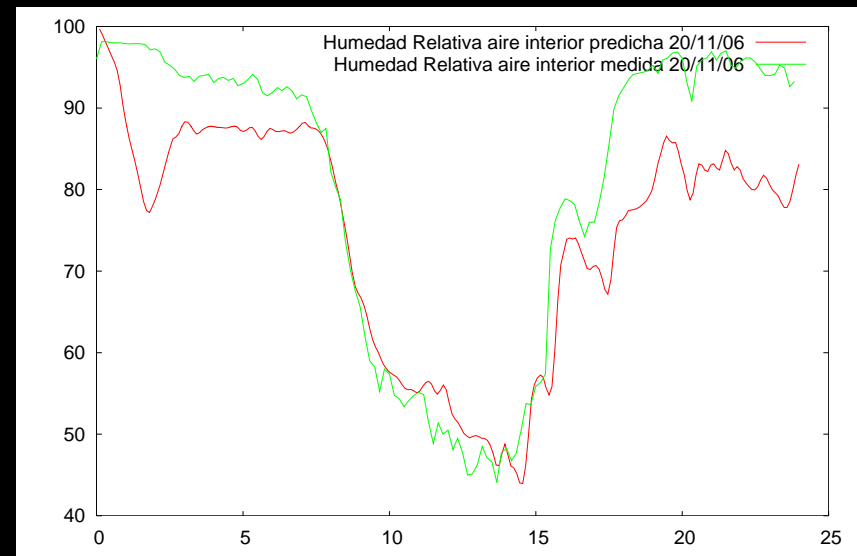
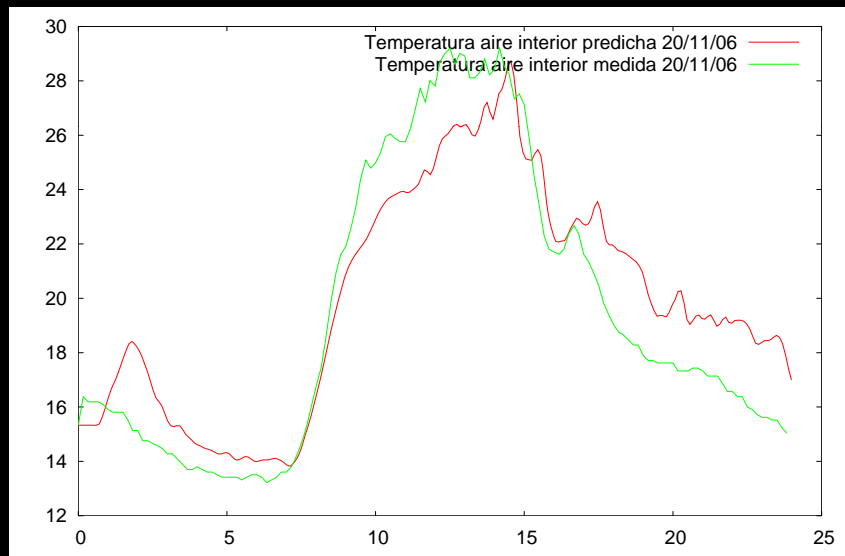
**Del 16
Octubre al
06 de
Noviembre
de 2006**



**Datos
Validación:**

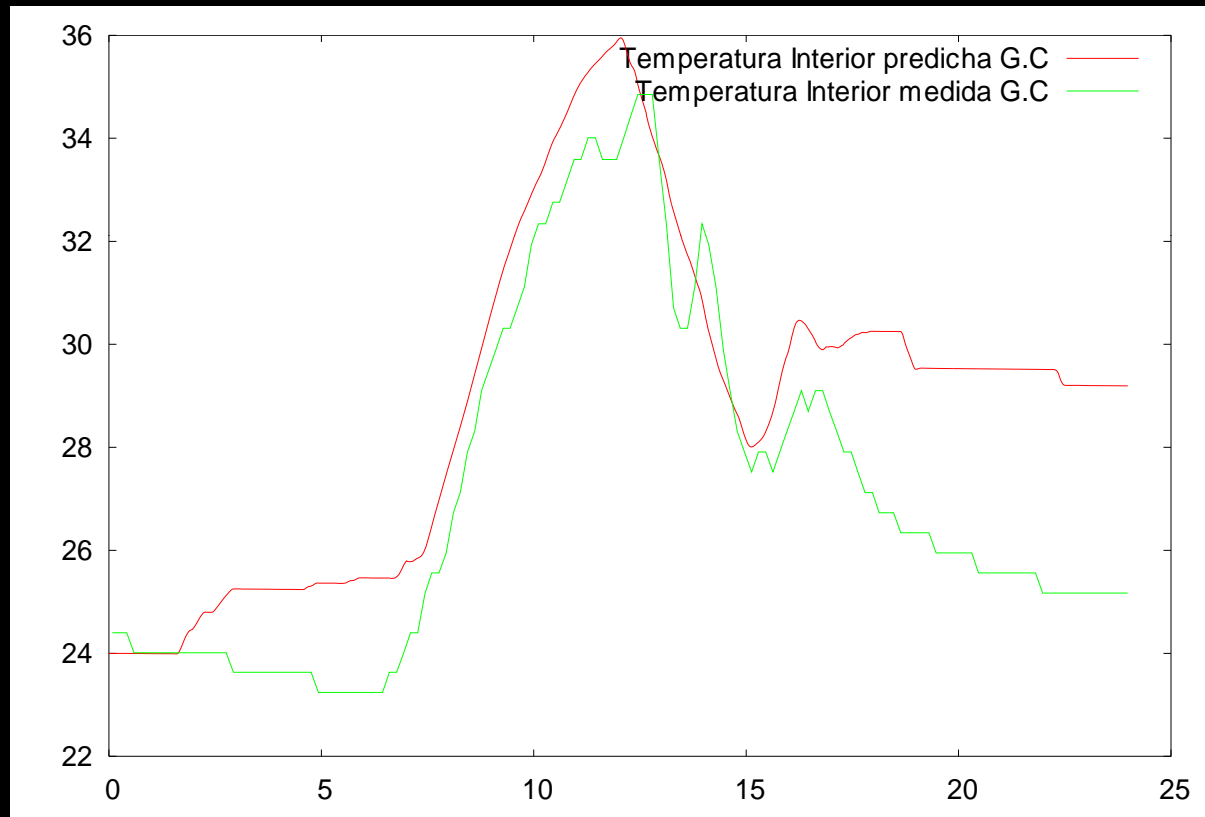
**13 y 20 de
Noviembre
de 2006**

VALIDACION EN INVERNADERO PILOTO (SANTA ROSA)



20/11/2006

VALIDACION EN INVERNADERO (TAPIPA)



28/09/2008

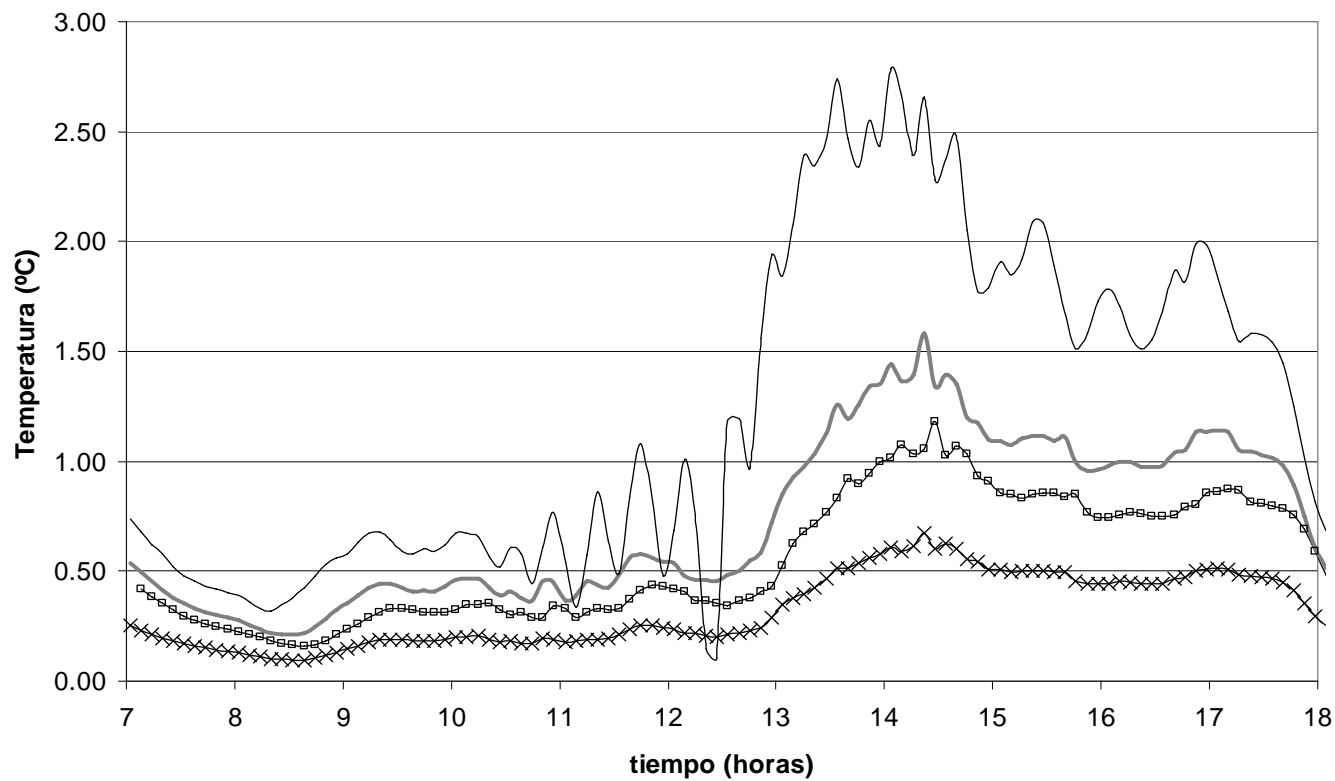
ERROR NUMERICO

	Temperatura del aire interior Invernadero Piloto °C	Temperatura del aire interior Invernadero Tapipa °C
Error absoluto promedio (°C)	1,98	5,29
Error relativo promedio (%)	11,56	17,29

Errores porcentuales obtenidos por Singh et al (2006), donde las diferencias entre los valores medidos y predichos en la temperatura del aire interior van de 0.49 % a 24 %

Singh, G. Singh, Parm. Singh, Prit and Singh, K. 2006. Formulation and validation of a mathematical model of the microclimate of a greenhouse. Renewable Energy 31: 1541-1560

APLICACIONES CONTROL INVERNADERO



× Apertura lateral=0.25

□ Apertura lateral=0.50m

— Apertura lateral=0.75m

— Apertura lateral=1.0m Apertura cenital=0.5m

APLICACIONES SIMICROC

T	TI	ERROR	T _{objetivo} =20°C
hora	°C	°C	
11,15	21,13	1,13	ABRIR VENTANA LATERAL 0,5m
11,25	21,25	1,25	ABRIR VENTANA LATERAL 0,5m
11,65	21,96	1,96	ABRIR VENTANA LATERAL 1m
12,56	22,29	2,29	ABRIR VENTANA LATERAL 0,5m y VENTANA CENTRAL 0,5m
12,66	22,62	2,62	ABRIR VENTANA LATERAL 0,75m y VENTANA CENTRAL 0,5m
12,76	23,06	3,06	ABRIR VENTANA LATERAL 1m, VENTANA CENTRAL 0,5m y VENTILACION FORZADA
15,17	22,18	2,18	ABRIR VENTANA LATERAL 1m

$$\text{ERROR} = \text{TI} - \text{T}_{\text{objetivo}}$$

¿Qué apertura podría disminuir la temperatura en la proporción requerida?

OTRAS APLICACIONES

1. Análisis del microclima de invernaderos de diferentes localidades (región andina y central)
2. Pruebas de ubicación y diseño de invernaderos.
3. Podría agregarse al modelo ecuaciones que describan el comportamiento de equipos para ensayar sistemas de control.
4. Acoplar programa de simulación de microclima con un programa que simulará el crecimiento de cultivo de pimentón en invernadero.

Información adicional

<http://webdelprofesor.ula.ve/forestal/rjaimez/index.htm>

email: leydeb@ula.ve

Instituto de Investigaciones Agropecuarias
Universidad de Los Andes
Mérida