

MODELO ARMÓNICO PARA ESTIMAR LA TEMPERATURA DEL SUELO DURANTE LA BROTAÇÃO DE PAPA BAJO COBERTURA DE PLÁSTICO TRANSPARENTE.

Gustavo G. OVANDO¹, Antonio C. de la CASA², Angel R. RODRÍGUEZ³ y Luciano BRESSANINI⁴.

INTRODUCCIÓN.

La temperatura del suelo (**T_s**) tiene un rol biológico importante en el crecimiento y desarrollo de los cultivos. En el caso de la papa (*Solanum tuberosum* L.) su influencia es particularmente decisiva ya que distintas etapas de su ciclo, como la brotación, estolonización y tuberización, se cumplen completamente en el suelo (STRUIK *et al.*, 1989a; 1989b; 1989c).

Diversos factores intrínsecos y extrínsecos modifican la condición térmica del suelo y le confieren un carácter microclimático estricto. En consecuencia, las observaciones de rutina de **T_s** no siempre tienen una utilidad directa y su alcance se restringe, en particular, cuando se introducen modificaciones sobre las condiciones de cobertura del suelo que alteran el balance calórico (MAHRER y KATAN, 1981). Se han propuesto métodos de diferente complejidad a fin de superar esta limitación. Mientras algunos realizan la estimación, tanto de **T_s** como de la temperatura de superficie (**T_{sup}**), por medio de procedimientos empíricos (RODRÍGUEZ, 1983), otros aplican redes neuronales (TASADDUQ *et al.*, 2002).

En cuanto a sus aplicaciones, algunos de ellos están orientados al campo de la observación satelital (GÖTTSCHE y OLESEN, 2001), en tanto otros han sido utilizados para representar la influencia del ambiente sobre los procesos de crecimiento y desarrollo de los cultivos (GRIFFIN *et al.*, 1993).

Entre los distintos factores que modifican la duración del proceso de brotación de la papa, se puede asumir que **T_s** ejerce la principal acción de control ambiental. En tal sentido, la modelación de este proceso biológico requiere disponer de información térmica. El objetivo del trabajo es producir un modelo para estimar **T_s** bajo condiciones de cobertura plástica, utilizando los registros térmicos de abrigo meteorológico como información de referencia.

MATERIAL Y MÉTODO.

El ensayo se realizó durante el mes de febrero de 2003, en un lote de producción comercial de papa del cinturón verde de Córdoba (31° 30' 44" S, 64° 08' 42" W, 402 m s.n.m.). En este lugar se encuentra instalado un abrigo meteorológico con una estación de registro automático que provee información horaria de la temperatura del aire (**T_a**).

El cultivo de papa fue sembrado el 17 de febrero y al día siguiente se procedió a instalar en el suelo sensores de temperatura en un camellón orientado en sentido Este-Oeste. En dicho camellón se dispusieron en posición central, a 10 cm de profundidad, 6 sensores separados a 2 metros de distancia, lo que dio lugar a una zona útil de 12 metros aproximadamente que se cubrió con plástico transparente de 50 micrones.

La adquisición de **T_s** se realizó en un intervalo horario con un aparato electrónico de registro conectado a termistores previamente calibrados. Por

cuestiones operativas, durante la experiencia se produjeron algunas interrupciones en la adquisición. La

experiencia se extendió hasta la emergencia de la papa el 11 de marzo.

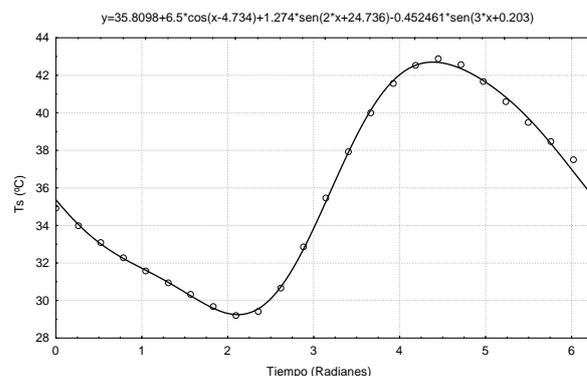
Al comienzo de la experiencia fueron obtenidas muestras de suelo en distintos sectores del lote, las que se integraron en una muestra compuesta a los efectos de determinar por gravimetría la condición de humedad inicial y considerar la influencia de este factor.

Debido a la naturaleza armónica de la variación diaria de **T_s**, que se desprende de uno de los términos de la solución de la ecuación de difusión térmica (MERVA, 1975), se utilizó un modelo para su estimación basado en la serie de Fourier. El modelo responde a la siguiente expresión genérica:

$T_{s_t} = b_0 + b_1 \cdot \cos(t - b_2) + b_3 \cdot \sin(2 \cdot t - b_4) + b_5 \cdot \sin(3 \cdot t - b_6)$; siendo t el tiempo expresado radianes (considerando a un día = 2π) y b_0, b_1, b_2, \dots , los coeficientes de ajuste de la serie.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

La Figura 1 presenta la variación de **T_s** a 10 cm de profundidad a lo largo del día 25 de febrero en el camellón cubierto con plástico transparente. El modelo armónico obtenido, cuya expresión se muestra en la figura, explica casi la totalidad de la varianza observada, lo que justifica su empleo a los efectos de representar de manera continua el comportamiento térmico de este ambiente modificado. La **T_s** máxima diaria es superior a 42°C y se produce alrededor de las 16 hs, mostrando el retraso típico respecto del mediodía solar. Este valor está comprendido por los



datos de **T_s** máxima diaria reportados por MAHRER y KATAN (1981) entre 5 y 15 cm para la posición central de un mulch transparente.

Figura 1: Observaciones de **T_s** a 10 cm de profundidad del día 25 de febrero para el tratamiento con plástico transparente (círculos) y las estimaciones obtenidas a partir del modelo armónico.

¹ JTTP Climatología Agrícola – Fac. de Cs Agropecuarias – UNC E mail: gugovan@agro.uncor.edu

² Prof. Adj. Climatología Agrícola – Fac. de Cs Agropecuarias – UNC.

³ Prof. Tit. Climatología Agrícola – Fac. de Cs Agropecuarias – UNC

⁴ JTTP Agroecología – Fac. de Cs Agropecuarias – UNC

De acuerdo con el adecuado comportamiento predictivo demostrado y en virtud de las diferencias térmicas que promueven los distintos tratamientos, se procedió a estimar diariamente los coeficientes b_i para cada uno en particular. Los resultados obtenidos para representar la variación diaria de T_a en abrigo se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1: Coeficientes de ajuste (b_i) de los modelos armónicos diarios y su coeficiente de determinación para la temperatura del aire (T_a) (n=24).

Día	b_0	b_1	b_2	b_3	B_4	b_5	b_6	R^2
50	19.000	0.447	-1.301	3.062	-0.187	0.994	-0.090	75.32
51	16.767	5.635	35.655	-0.504	-2.540	-0.479	4.680	99.35
56	27.383	-8.425	7.515	1.543	0.193	1.104	-3.760	99.39
57	29.879	6.439	42.067	-2.237	9.477	0.318	1.375	99.63
60	20.363	-2.601	1.196	1.100	0.433	0.273	-0.757	98.18
61	20.938	4.762	42.181	-0.787	4.457	-0.742	5.801	98.47
62	22.933	-5.368	64.079	0.779	-6.629	-0.696	4.091	98.93
63	22.342	-5.302	64.078	-1.094	15.049	-0.269	-2.911	99.68
64	20.842	-0.872	-1.537	0.327	0.477	0.353	-0.581	92.01
65	21.363	-2.440	1.051	0.432	-0.011	-0.462	-0.672	98.49
66	23.688	-4.699	57.675	-0.593	3.029	0.525	1.841	98.48
67	22.579	-2.483	0.582	2.172	-0.856	-0.404	-0.439	97.43
68	21.183	-1.584	-0.196	1.572	-1.312	-0.955	-1.138	88.59
69	21.533	-3.352	26.307	-0.688	2.930	-0.780	-0.027	97.25

El análisis que sigue tiene por finalidad, a partir de esta información, desarrollar un procedimiento a propósito de determinar T_s en función de T_a . A fin de producir el modelo de estimación se optó por trabajar con los días pares y se dejaron los impares para su verificación. Asimismo, de partida se descartaron los primeros dos días disponibles en razón de mostrar un menor ajuste, como se puede apreciar en la Tabla 1 para el modelo armónico de T_a del día 50, que sólo explica 75% de la variabilidad.

La mecánica consiste en producir los coeficientes de ajuste para representar T_s utilizando los que corresponden a T_a . Con este propósito son correlacionados de a pares equivalentes los respectivos coeficientes de días pares. Los resultados del análisis de correlación y regresión para el conjunto de coeficientes b_i se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2: Coeficientes de correlación (r), ordenada (b) y pendiente (a) de las relaciones lineales entre los respectivos conjuntos diarios (n=6) de los coeficientes de ajuste.

	b_0	b_1	b_2	B_3	b_4	b_5	b_6
r	0,96	0,954	0,838	0,882	0,93	0,457*	-0,44*
a	0,9	0,937	1,543	0,906	1,29		
b	11,5	0,019	1,282	0,097	0,94		

*: no significativos al 5%.

Como se muestra en la Tabla 2, sólo son significativas al 5% de probabilidad y se presentan las relaciones cuando r supera 0,811. Con los valores de ordenada y pendiente así obtenidos, y los coeficientes de ajuste b_i de T_a de los días impares, se calcularon los respectivos coeficientes de T_s y se estimó con ellos su variación diaria. Las series de valores térmicos

estimados y observados se sometieron a un análisis de correlación y regresión, como presenta la Figura 2.

En general los puntos se presentan ordenados sobre la región de identidad, si bien la prueba de verificación sólo explica 69% de la variabilidad.

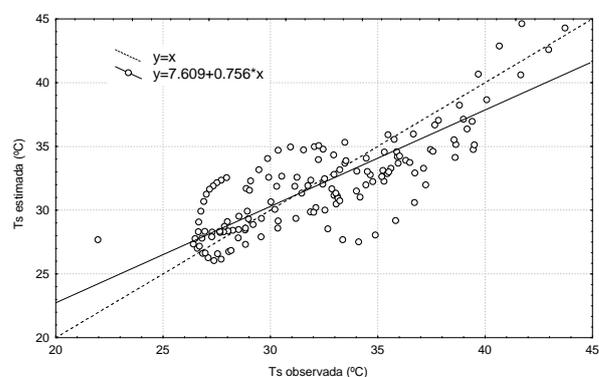


Figura 2: Dispersión de valores observados y estimados de T_s a 10 cm de profundidad bajo cubierta de plástico transparente, con respecto a la recta del mejor ajuste y de la función identidad (1:1).

CONCLUSIONES.

Se obtuvo un modelo promisorio para estimar la variación diaria de T_s a 10 cm de profundidad bajo plástico transparente, que con datos independientes explicó la mayor parte de la variabilidad observada.

BIBLIOGRAFÍA.

- GÖTTSCHE, F-M. y F. S. OLESEN. Modelling of diurnal cycles of brightness temperature extracted from METEOSAT data. **Remote Sensing of Environment**, v. 76, p. 337-348, 2001.
- GRIFFIN, T.S., B.S. JOHNSON y J.T. RITCHIE. A simulation model for potato growth and development: Substor-potato Version 2.0. **IBSNAT Research Report Series 02**. Dept. of Agronomy and Soil Science. 1993.
- MAHRER, Y. y J. KATAN. Spatial soil temperature regime under transparente polyethylene mulch: numerical and experimental studies. **Soil Science**. v.131, n.2, p. 82-87, 1981.
- MERVA, G.E. *Physio-engineering Principles*. Chap. 6: Heat flow in the soil. The AVI Publishing Company, INC., Westport, Connecticut, p. 200-234, 1975.
- RODRÍGUEZ, A.R. Modelo macroclimático de estimación de temperaturas de suelo. **Rev. Cs. Agropecuarias**, v. 4, p. 69-79, 1983. Córdoba, Argentina.
- STRUJK, P.C., J. GEERTSEMA y C.H.M.G. CUSTERS Effects of shoot, root and stolon temperature on the development of the potato (*Solanum tuberosum* L.) plant. II. Development of stolons. **Potato Research**, v. 32, p. 143-149, 1989b.
- STRUJK, P.C., J. GEERTSEMA y C.H.M.G. CUSTERS Effects of shoot, root and stolon temperature on the development of the potato (*Solanum tuberosum* L.) plant. III. Development of tubers. **Potato Research**, v. 32, p. 151-158, 1989c.

STRUIK, P.C., J. GEERTSEMA y C.H.M.G. CUSTERS. Effects of shoot, root and stolon temperature on the development of the potato (*Solanum tuberosum* L.) plant. I. Development of the haulm. **Potato Research**, v. 32, p. 133-141, 1989a.

TASADDUQ, I., S. REHMAN y K. BUBSHAIT. Application of neural networks for the prediction of hourly mean surface temperatures of Saudi Arabia. **Renewable Energy**, v. 25, p. 545-554, 2002.