

## Localización microclimática de zonas óptimas para la introducción del cultivo de la soya en el estado de Tlaxcala

W. RITTER ORTIZ<sup>1, 2</sup>, S. GUZMÁN RUIZ<sup>1</sup>, R. SALVATIERRA FIERRO<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Centro de Ciencias de la Atmósfera, Universidad Nacional Autónoma de México, 04510, México, D. F., México

<sup>2</sup> Departamento de Agrobiología, Iztacuíztla, Universidad Autónoma de Tlaxcala

(Manuscrito recibido 28 de enero de 1991; aceptado en forma final 21 de nov., 1991)

### RESUMEN

A partir de la información climatológica se aplican metodologías para la introducción del cultivo de la soya en el estado de Tlaxcala calculándose índices relacionados con valores de confort para el mejor desarrollo del cultivo y localizándose zonas de óptimo desarrollo, con consideraciones fenológicas. Se aplica un modelo empírico de producción de biomasa y se calcula la potencialidad de la cosecha.

### ABSTRACT

The climatological data from Tlaxcala state has been used to apply methodologies for soya growing in this State. Index related to comfort values for better growing have been calculated, zones with an optimum development and phenological considerations have been chosen.

An empirical production biomass model has been applied and the potential of harvesting has been calculated.

### Introducción

El crecimiento y desarrollo de un cultivo está relacionado con un gran número de procesos individuales, donde el interés en el entendimiento de estos procesos nos ha llevado a la investigación interdisciplinaria entre fisiólogos de plantas, ingenieros, economistas, meteorólogos, etcétera. Esto es necesario ya que el sistema planta incluye también a su ambiente y es la síntesis de las interacciones físicas y biológicas de sus componentes. Los factores meteorológicos más importantes son la radiación solar, temperatura y precipitación, siendo la radiación solar la fuerza que maneja al sistema. La temperatura determina tanto la razón como el periodo de crecimiento para las plantas y es a menudo representado como horas calor para el periodo de desarrollo. Consideramos que la precipitación es la mayor fuente de entrada de agua al sistema de la planta. La pérdida de humedad del suelo por transpiración y evaporación es una resultante del balance energético diario y está influenciada por la cantidad de radiación recibida en la superficie terrestre. (Curry *et al.*, 1975; Wilkerson *et al.*, 1983).

La soya (*Glycines mas.* (L) Merrill) es uno de los cultivos que han adquirido una gran importancia por su alto contenido de grasa (17 a 26%) y proteína (32 a 45%), además de tener una gran variedad de usos.

Esta planta requiere de una fuerte intensidad lumínica siendo de fotoperiodo largo con temperaturas del suelo de 15°C para favorecer la germinación y el crecimiento vigoroso de la planta, las temperaturas del aire van de 18 a 30°C y las óptimas de 20 a 25°C, mientras que la demanda

hídrica es de 450 a 700 mm en forma de precipitación o riego (Ascencio, 1988; Stephen *et al.*, 1970).

Por su reciente introducción en México ha sido poco extendida, pero sus requerimientos climáticos son característicos de zonas cálidas. México actualmente ocupa el cuarto lugar como productor mundial, con una superficie de producción de 377 778 hectáreas.

En Tlaxcala aún no se cultiva esta leguminosa ya que no se han realizado estudios para su introducción, además de que aparentemente las condiciones climáticas no le son muy favorables. Sin embargo, por su topografía existe en el Estado una gran variedad microclimática y es posible que existan regiones protegidas cuyas condiciones locales generen un microclima favorable para el desarrollo y producción de este cultivo.

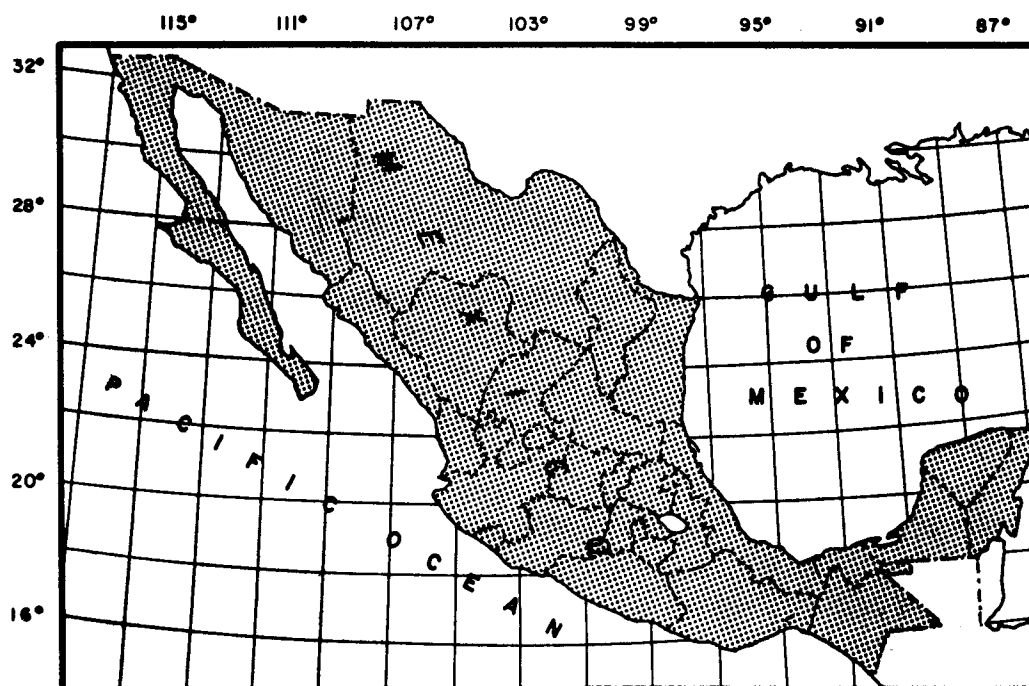


Fig. a. Localización geográfica del Estado de Tlaxcala.

El objetivo de este trabajo es determinar regiones de óptimo desarrollo para la producción de soya a través de un análisis microclimático de cada región, con base, primero en los datos registrados en las estaciones climatológicas establecidas en el Estado y segundo en medidas tomadas con una estación portátil, poniendo énfasis en temperaturas del suelo, y en los flujos energéticos conductivos a nivel del suelo y de la raíz, entendiéndose como óptimo desarrollo de un cultivo, la capacidad potencial productiva de un área, dada por la suma de un todo armónico en los procesos fisiológicos de las plantas, los cuales están en función de las condiciones climáticas principalmente y en segundo término los factores edáficos. Los rendimientos, en el desarrollo óptimo, son altos en cantidad y calidad, con una variación anual poco pronunciada y curva característica sigmoide de crecimiento (Klages, 1942).

### Metodología

Este trabajo se llevó a cabo de manera inductiva, lo cual significa que una vez conocida la fenología y exigencias agroclimáticas del cultivo de soya, se realizó el análisis de la irradiancia

deducida de datos de evaporación, observada en las estaciones climatológicas con periodos mayores a 10 años de información, que están situadas en el estado de Tlaxcala y operadas por la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, bajo la consideración de que en la evaporación de 1 mm de agua se necesitan 2.45 megajoules/m<sup>2</sup> (Oke, 1978) (Fig. 1) así como las normales de temperatura, siendo éstos, los promedios mensuales de las temperaturas máximas y mínimas diarias (°C) para el periodo de desarrollo de mayo-septiembre (Fig. 2), además las normales de precipitación (mm), para el periodo de desarrollo de mayo-septiembre (Fig. 3).

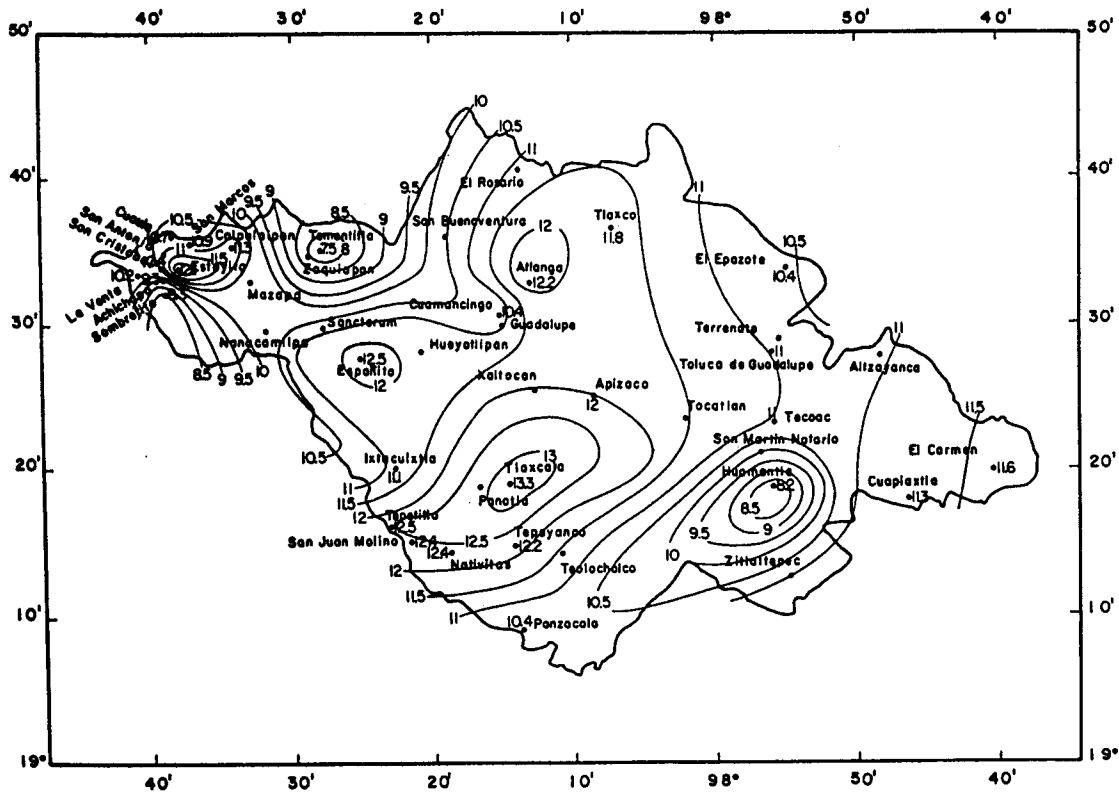


Fig. 1. Irradiancia anual MJ/m<sup>2</sup>, deducida a partir de datos de evaporación.

Se analizan los periodos libres de heladas y se establecen las microzonas térmicamente estables con una probabilidad mínima de heladas (%), Tabla 1. (Orozco, 1989).

Se obtuvieron las probabilidades de la semana del mes de inicio de lluvias con base en datos diarios con el 70 al 90% de probabilidad, definido como el primero o segundo día lluvioso en que el total de precipitación es mayor de 20 mm. además de que no se presente una sequía en los próximos 15 días, para conocer zonas limitantes por este factor, así como sus periodos de abastecimiento (Fig. 4) (Jiménez, 1990).

Se calcularon las unidades calor en grados día por el método residual, tomando como temperatura base la de 10°C (Da Mota, 1978) (Fig. 5), y los balances de agua, por lo que fue necesario calcular la evapotranspiración potencial por el método de Thornthwaite, para poder definir los periodos de crecimiento (Fig. 6).

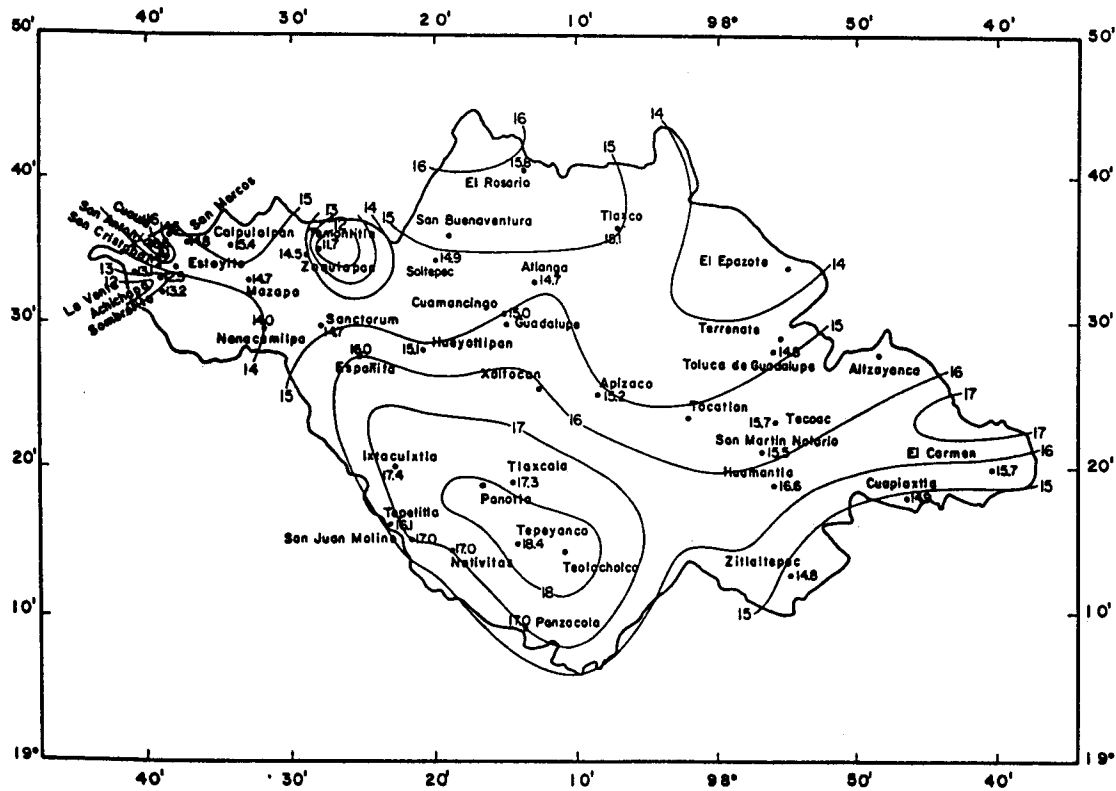


Fig. 2. Normales de temperatura °K, para el periodo mayo-septiembre.

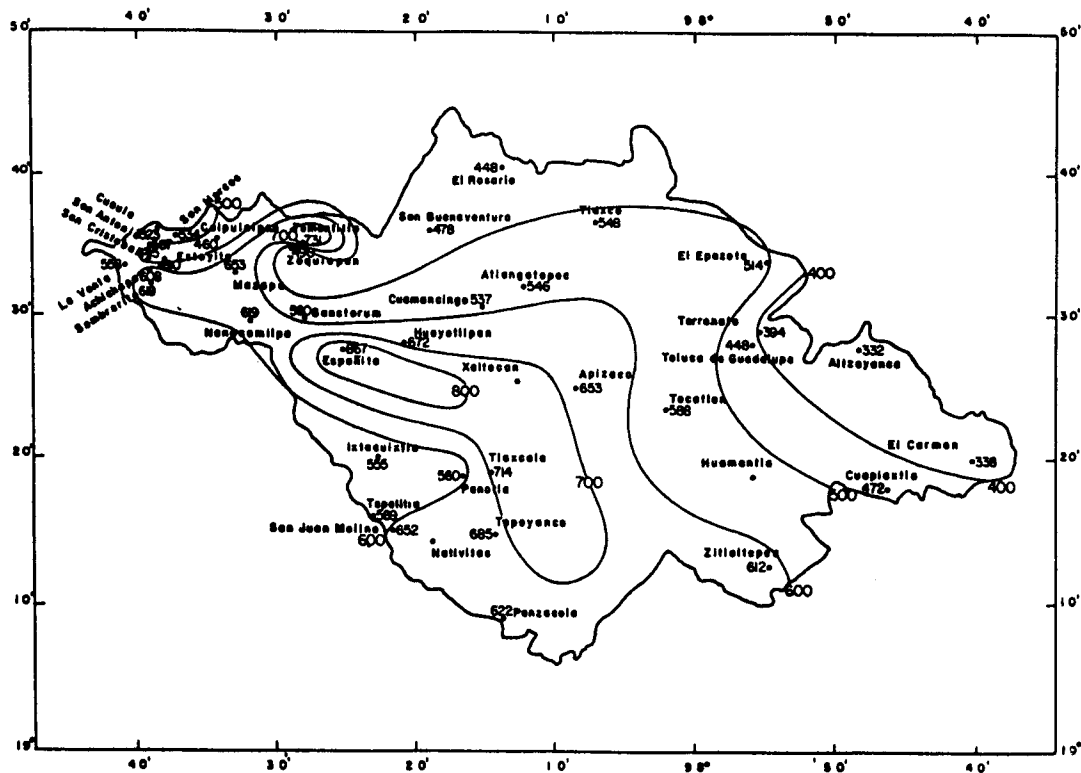


Fig. 3. Normales de precipitación mm, para el periodo mayo-septiembre.

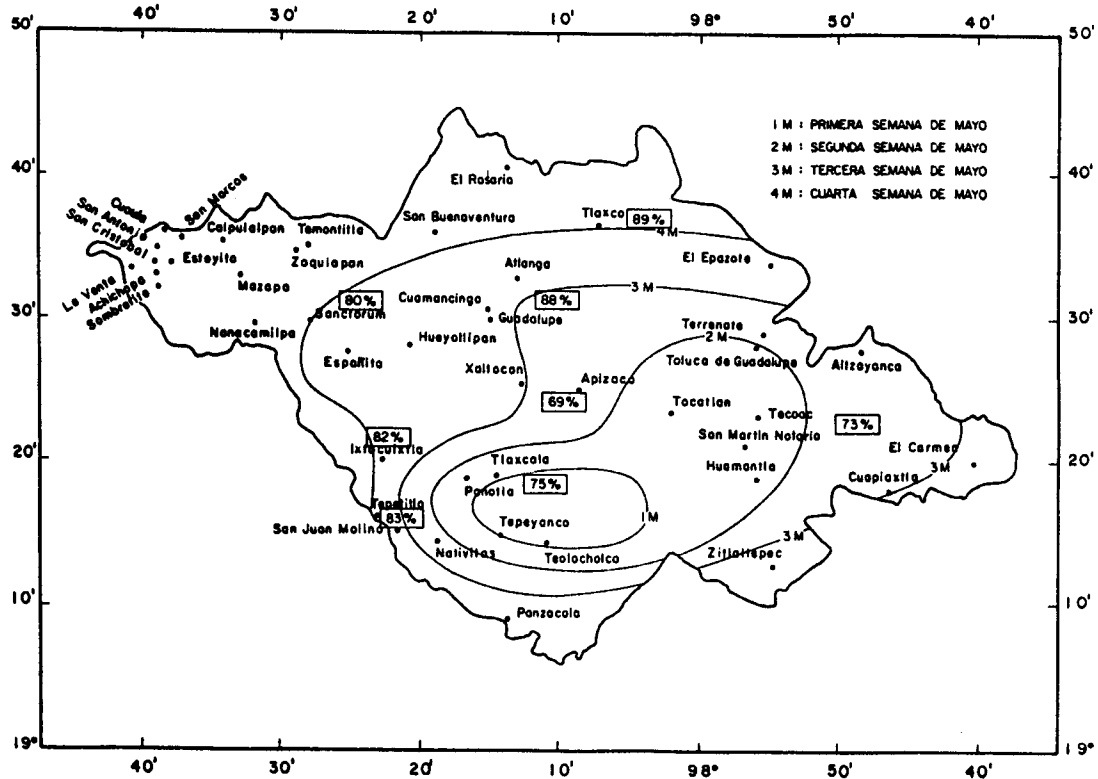


Fig. 4. Probabilidad del 70 al 90% de la semana del mes de inicio de lluvias con base en datos diarios (Jiménez, 1990).

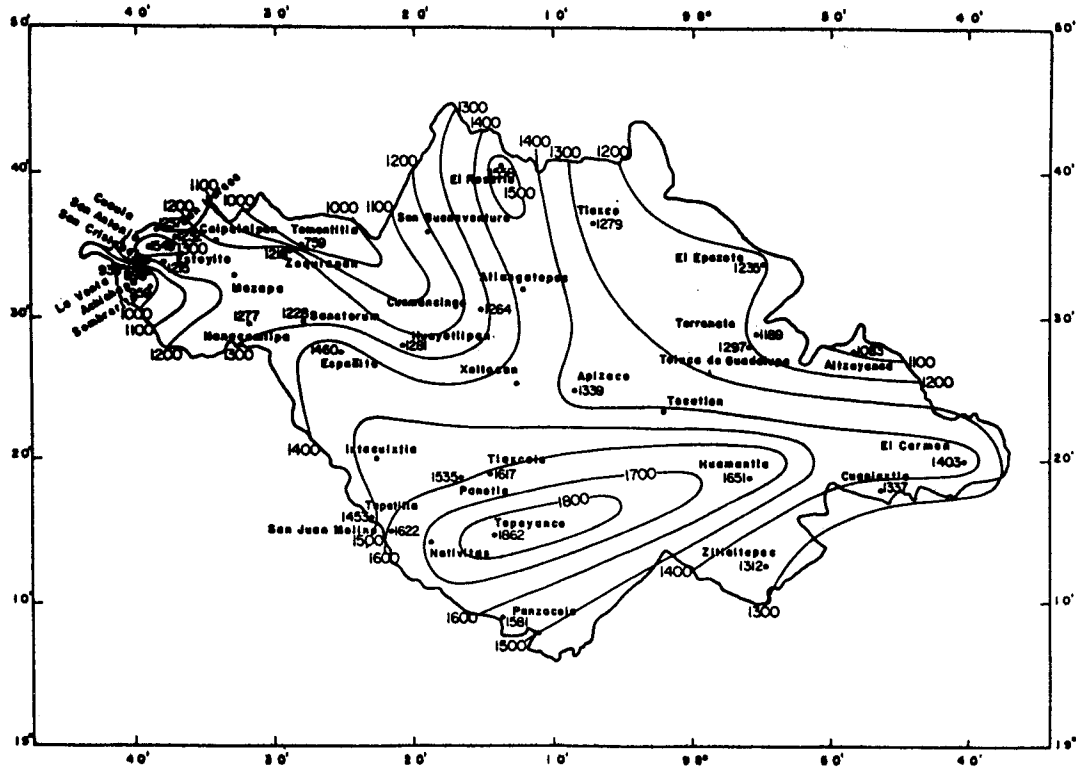


Fig. 5. Unidades calor en grados día, con una temperatura base de 10°C.

Tabla 1. Periodo libre de heladas al 80, 60 y 50 de probabilidad de ocurrencia de una helada (Orozco, 1989).

Estación	80%	60%	50%
Apizaco	13 feb.-9 nov., 268 días	27 mar.-22 oct., 209	5 abril-15 oct., 193
Tlaxco	1 mar.-8 nov., 251 días	19 mar.-25 oct., 219	29 abril-18 oct., 202
Tlaxcala	28 feb.-9 nov., 253 días	29 mar.-26 oct., 210	2 abril-22 oct., 202
Atlangatepec	15 abril-12 oct., 179 días	14 mayo-22 sept., 130	30 mayo-9 sept., 101
Ixtacuixtla	6 abril-20 oct., 196 días	20 abril-11 oct., 171	29 abril-2 oct., 154
Tepetitla	4 mayo-9 oct., 157 días	23 mayo-11 ag., 79	29 mayo-4 ag., 66
Toluca de Guadalupe	4 mar.-1 nov., 241 días	3 abril-13 oct., 192	12 abril-6 oct., 176
Españita	26 ene.-12 oct., 251 días	10 abril-1 oct., 173	11 abril-20 sept., 161
Panzacola	11 abril-10 oct., 181 días	14 abril-8 oct., 176	21 abril-2 oct., 163
Cuapiaxtla	1 mar.-4 nov., 248 días	19 mar.-3 oct., 197	8 abril-26 sept., 170

De las zonas que cumplieron con los requerimientos anteriores, se muestrearon cuatro regiones potenciales, las cuales fueron Tepeyanco, Españita, región Tlaxcala (capital) y Nativitas, analizándose la temperatura edáfica para cinco profundidades del suelo (5.5, 6, 10.5, 21.5 y 50.5 cm), la Figura 7 muestra el comportamiento de la temperatura del suelo para dichas regiones a una profundidad de 6 cm, correspondiente a la profundidad de desarrollo de la raíz de la planta, para un día claro del mes de abril. De las temperaturas de las diferentes profundidades se calcularon los correspondientes flujos de intercambio energético por conducción  $Q_G$ , entre las capas, con la ecuación:

$$Q_G = -K_S \frac{(\bar{T}_2 - \bar{T}_1)}{(Z_2 - Z_1)} = -K_S \frac{\Delta \bar{T}_S}{\Delta Z}$$

donde  $K_S$  es la conductividad térmica en  $W/(m \cdot ^\circ k)$  y  $T_1$  ( $T_2$ ) es la temperatura del suelo a la profundidad  $Z_1$  ( $Z_2$ ), utilizándose los valores de  $K_S$  dados en la Tabla 2.1 de Oke (1978).

En la Tabla 2 se dan los rendimientos potenciales de soya en kilogramos/hectárea, estimados por el método empírico-estadístico generado por Romo (1985).

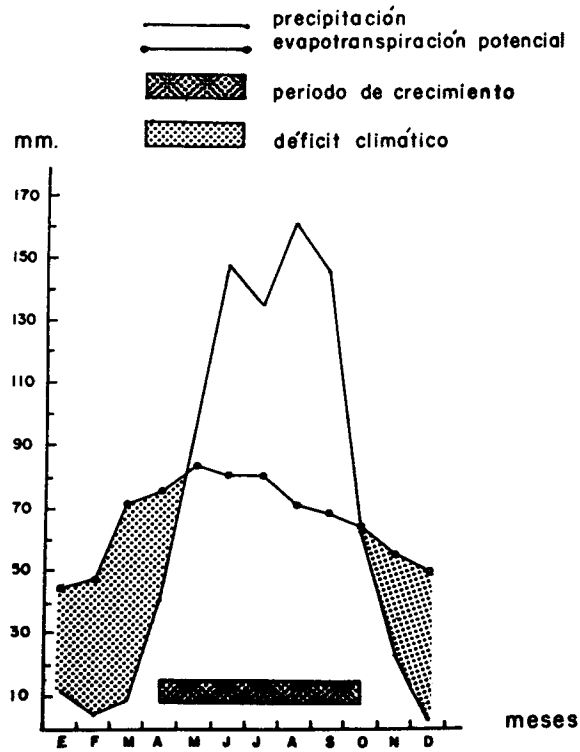


Fig. 6. Distribución de la precipitación y periodos de crecimiento para la región de Tepeyanco.

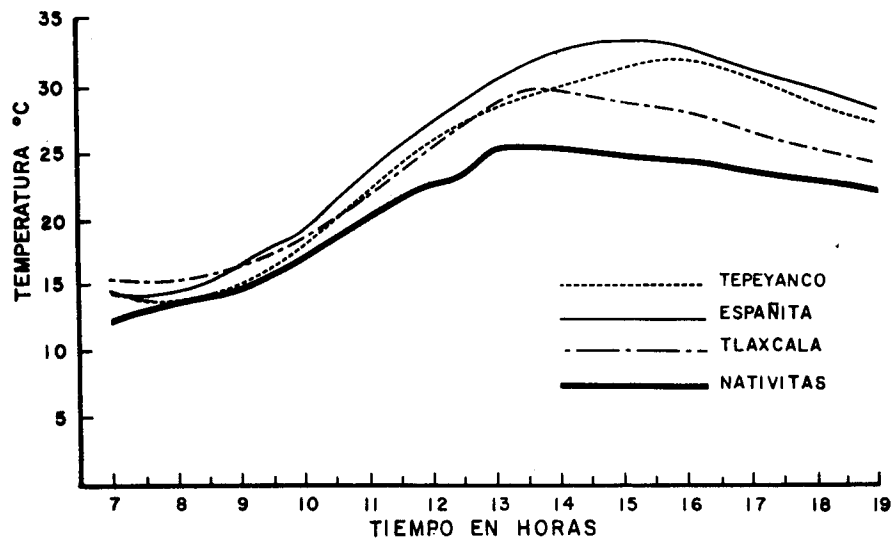


Fig. 7. Comportamiento de la temperatura del suelo para diferentes regiones a una profundidad de 6.0 cm.

Tabla 2. Rendimiento de soya en kg/ha para las zonas de interés, determinado por el modelo de Da Mota.

Apizaco	1382
Españita	1381
Huamantla	1382
Nativitas	1379
Panotla	1382
Panzacola	1390
Tepetitla	1382
Tepeyanco	1394
Tlaxcala	1379

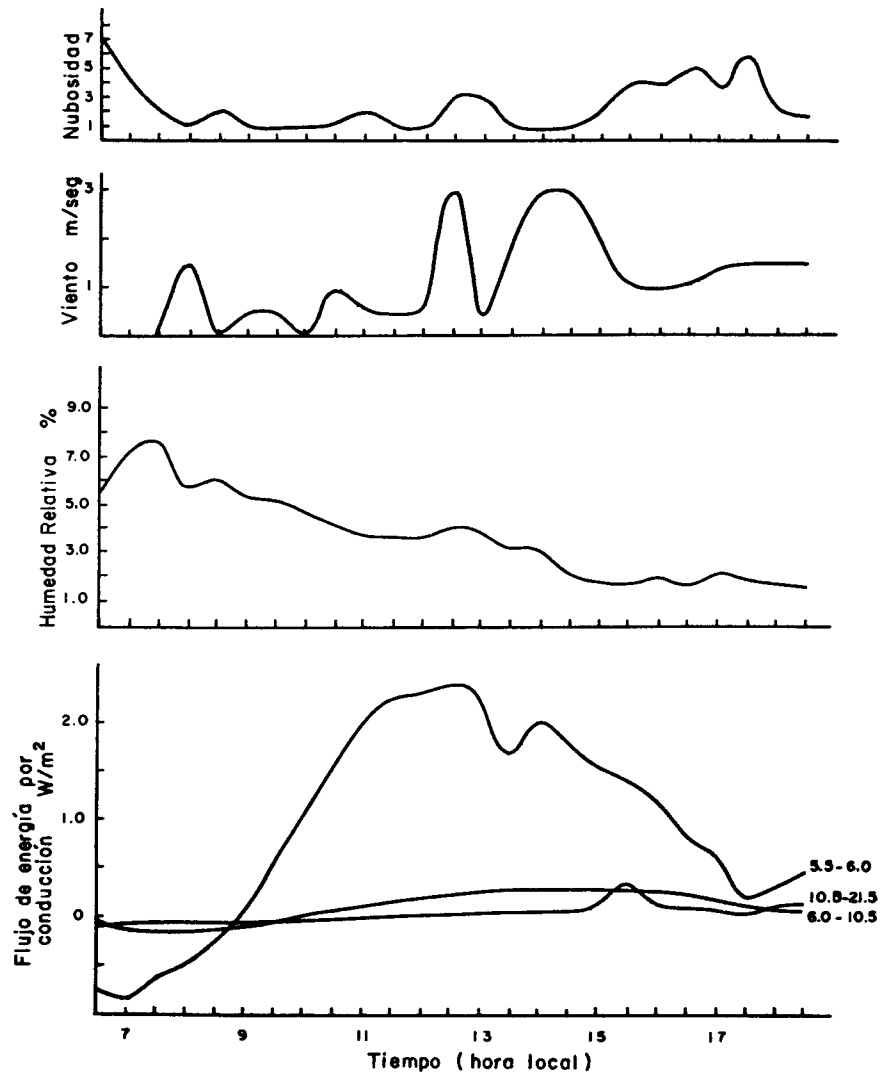


Fig. 8. Parámetros microclimáticos de nubosidad, viento, humedad relativa y flujos de intercambio energético conductivo para tres capas del suelo, para la región de Tepeyanco.



## Resultados y conclusiones

En la Figura 1 se tienen los valores de iluminación anual para el estado de Tlaxcala en megajoules/m<sup>2</sup> de datos de evaporación con valores máximos en la zona de la ciudad de Tlaxcala, 13.3 MJ/m<sup>2</sup> de lo que nos dice que la zona cuenta con altos valores de irradiación, esto concuerda con Galindo *et al.* (1991) en cuyo trabajo obtuvieron valores de 17.6 MJ/m<sup>2</sup> para esta zona en el periodo comprendido de julio de 1982 a diciembre de 1984, derivado de datos de Satélite.

La demanda hídrica del cultivo de la soya va de 450 a 700 mm de agua en forma de precipitación o riego y en la Figura 3, de valores normales de precipitación, se observa una gran variabilidad dependiente de las regiones geográficas, sin embargo la precipitación en la mayor parte del Estado está dentro del rango de las exigencias del cultivo, con excepción de la región de el Carmen Tequesquiltla y Alzayanca, parte este del Estado que sólo cuenta con una precipitación de 338 y 332 mm, respectivamente, siendo por lo tanto la única región del Estado donde el factor limitante es la precipitación. En la Figura 4 se muestran las probabilidades de inicio de lluvias para el mes de mayo con base en datos diarios, observándose que para la cuarta semana de mayo, existe una probabilidad mayor del 80% de que se inicien las lluvias en la zona norte, oeste y noroeste del Estado; en la zona alrededor de la ciudad de Tlaxcala, con probabilidades de 75%, se inician las lluvias en la primera semana de mayo, en las demás regiones, el inicio de lluvias se da en la tercera semana de mayo, con una probabilidad mayor al 73%. Esto nos permite observar que en la mayor parte de las regiones existe agua disponible para iniciar la siembra del cultivo de soya a partir de la cuarta semana de mayo, sin riesgos de que la germinación se vea afectada por la falta de humedad. En el caso de las regiones del centro y sur del Estado, la limitación es menor y se puede iniciar el cultivo con una mayor anticipación. Las regiones con un menor riesgo para el inicio de la siembra son Tepeyanco, Teolochoico y el municipio de Tlaxcala.

En la Figura 2 se observan las normales de temperatura (°C), uno de los principales factores limitantes para el cultivo de soya en el área de estudio, notándose en esta figura que para la mayor parte del Estado, estas condiciones no se cumplen. La región con temperaturas promedio más altas (mayores de 18°C) se encuentra en Tepeyanco, Teolochoico y Panotla, con un máximo de 18.4 en Tepeyanco para los meses mayo-septiembre.

Del cálculo de las horas calor por el método residual para diferentes zonas del estado de Tlaxcala (Fig. 6), se observa que es la zona de Tepeyanco, Zacatelco y Teolochoico, la mejor desde el punto de vista energético. La distribución de la precipitación y evapotranspiración para la región de Tepeyanco se da en la Figura 6, donde el periodo de crecimiento es de abril a octubre. Los periodos libres de heladas se dan en la Tabla 1, donde la probabilidad de que ocurra una helada para la zona potencialmente apta es menor del 50% con un rango de seguridad de un mes al periodo que se está trabajando.

De todos los análisis anteriores se determinan varios lugares potencialmente aptos, comprendidos en la zona centro-sur del Estado, siendo la óptima la región de Tepeyanco.

Las temperaturas del suelo, en base horaria, en un día de cielo claro del mes de abril, se muestran en la Figura 7, para cuatro regiones del estado de Tlaxcala (Españita, Nativitas, Tepeyanco y Tlaxcala (capital)) y a una profundidad de 6 cm, que es la zona de brotación de la planta, observándose que es Españita la que presenta los valores más altos, aunque también es la que presenta una mayor oscilación térmica; para la zona de Tlaxcala (capital) se encontró que es la que tiene una mayor estabilidad. Las cuatro zonas presentan sus valores máximos en diferentes horas, Nativitas a las 13:00 hs, Tlaxcala a las 14 hs, Españita a las 15:00 hs y Tepeyanco a las 16:00 hs, lo que hace que en esta última zona el almacenamiento térmico se prolongue hasta horas más tarde de la noche, protegiendo el suelo por periodos más largos de la presencia de temperaturas bajas. El flujo energético conductivo por procesos moleculares dentro del suelo,

presenta un comportamiento similar al de las temperaturas, con valores mínimos durante las mañanas y máximos en la tarde, coincidente con los máximos y mínimos de las temperaturas propias de cada una de las localidades.

Para determinar posibles efectos de la nubosidad, velocidad del viento y contenido de humedad en el aire sobre los flujos energéticos conductivos horarios a nivel de la profundidad de desarrollo de la planta, así como posibles interferencias a mayores profundidades, se muestra en la Figura 8 una situación ilustrativa para Tepeyanco de los anteriores parámetros, donde la nubosidad está dada en octas, la velocidad del viento en m/seg, la humedad relativa en por ciento y el flujo energético conductivo en  $\text{watts/m}^2$  para tres capas de 5.5 a 6.0 cm en la primera capa, de 6 a 10.5 cm en la segunda capa y de 10.5 a 21.5 cm en la tercera capa. Podemos observar que la humedad relativa inicia el día con valores altos y disminuye conforme avanza la mañana hasta obtener sus valores mínimos por las tardes, sin observarse posibles interferencias en el flujo energético del suelo. El viento durante la mañana no presenta ningún efecto sobre la transferencia energética, mientras que la nubosidad con valores altos en estas horas no tiene un efecto considerable, ya que la disponibilidad energética para estas horas es mínima, sin embargo para el medio día, tanto el viento como la nubosidad, tienden a reforzarse para producir cierto abatimiento en el intercambio energético, esto se mantiene hasta que el Sol desciende del cenit, en las tardes al igual que por las mañanas podemos decir que no existe un efecto significativo, por lo que la planta cuenta para sus procesos de desarrollo y productivos y a nivel de la raíz, con una disponibilidad energética suficiente para dichos procesos e incluso con una reserva energética de protección para posibles presencias de bajas temperaturas en el aire.

### Agradecimientos

Agradecemos la ayuda prestada por Alfonso Estrada B. y Rodolfo Meza en la elaboración de las gráficas.

### BIBLIOGRAFIA

- Ascencio, L. G., 1988. Predicción de fenología para cuatro cultivos de soya (*Glycine mas.* (L) Merrill), en el sur de Tamaulipas. Tesis de Maestría, Colegio de Postgraduados de Chapingo. Montesillos, México.
- Curry, R. B., C. H. Baker and J. G. Strecker, 1975. SOYMOD I: A Dynamic Simulator of Soybean Growth and Development. *TRANSACTIONS of the ASAE* 18: 963-968.
- Da Mota, F. S., 1978. Soya Bean and Weather. Technical Note. No. 160 OMM. Ginebra, Suiza, 64 pp.
- Galindo, I., S. Castro and M. Valdés, 1991. Satellite derived solar irradiance over Mexico. *Atmósfera*, 4, No. 3, 189-201.
- Jiménez, J., 1990. Inicio de lluvias y probabilidades de sequía en el estado de Tlaxcala. Tesis de Licenciatura en Biología-Agropecuaria. Universidad Autónoma de Tlaxcala.
- Klages, K. H. W., 1942. Ecological crop geography, McMillan, New York. 8: 100-131.
- Oke, T. R., 1978. Boundary Layer Climates. Methuen & Co. Ltd. London. 30-38.
- Orozco, F. S., 1989. Origen y probabilidades de heladas para el estado de Tlaxcala, Tesis de Licenciatura en Biología Agropecuaria, Universidad Autónoma de Tlaxcala.

- Romo, G. J. R., 1985. Zonas con potencial agroclimático para la producción de 5 oleaginosas bajo temporal en la República Mexicana, Colegio de Postgraduados de Chapingo, Montesillos, México.
- Stephen, R., Chapman y Lark, 1970. Producción Agrícola, principios de prácticas. Acribia, Zaragoza, España, p. 352-354.
- Wilkerson, G. G., J. W. Jones, K. J. Boote, K. T. Ingram and J. W. Mishoe, 1983. Modeling Soybean Growth for Crop management. TRANSACTIONS of the ASAE 26 : 63-73