

Simulación y pronóstico de lluvias: una aplicación al Estado de Tlaxcala, México

W. Ritter Ortiz*+ y S. Guzmán Ruiz+

* *Departamento de Agrobiología, Ixtacuixtla, Universidad Autónoma de Tlaxcala.*

+ *Centro de Ciencias de la Atmósfera, Circuito Exterior, UNAM.*

Recibido: 21 de enero, 1991; aceptado: 3 de octubre, 1991.

RESUMEN

Se aplican para Tlaxcala algunos modelos determinísticos y estocásticos de simulación y pronóstico de la lluvia. Para la simulación y pronóstico semanal se usa el modelo logístico con muy buenos resultados y para el total anual, un modelo exponencial para polinomios de orden superior. Para días consecutivos de lluvias y sequías se usan técnicas matemáticas de cadenas de Markov.

PALABRAS CLAVE: Simulación y pronóstico de lluvias, Tlaxcala, México.

ABSTRACT

Deterministic and stochastic models of simulation and forecasting of rain are applied to some areas of Tlaxcala state (Mexico).

The logistic model is used in simulation and forecasting of weekly rain with very good results. For total annual rain we use a multiple smoothing technique based on higher-order polynomials. In forecasting of consecutive days of rain or drought a stochastic Markov chain model is used.

KEY WORDS: Rainfall forecasting, Tlaxcala, Mexico.

INTRODUCCION

En Tlaxcala, así como en toda la República Mexicana, las formas predominantes de productividad agrícola son las llamadas de temporal, siendo una fuente importante de abastecimiento de productos agrícolas y del que millones de mexicanos dependen para su sobrevivencia. Son áreas que para producir alimentos dependen totalmente de las condiciones atmosféricas que se presenten durante la etapa de crecimiento y desarrollo de los cultivos.

El problema de caracterizar los años de sequía o de abundancia de lluvias en el altiplano mexicano ha ocupado a varios investigadores (Bárcena, 1896; Lebrija, 1957; Jáuregui y Klaus, 1976; Mosiño y García, 1981), sin que se haya podido todavía dilucidar cuáles son las configuraciones de la circulación atmosférica sobre la República Mexicana y los mares vecinos que determinan la persistencia de las situaciones pluviométricas deficitarias o excedentes sobre lapsos más o menos largos de la temporada de lluvias.

En este estudio se aborda para Tlaxcala, con base en las estaciones climatológicas existentes en la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, el análisis de la información histórica de precipitación sobre bases diarias, mensuales y anuales, con el propósito de determinar para las diferentes zonas su inicio de lluvias y sus probabilidades de sequía que permitan determinar períodos de desarrollo en los cultivos, con menor dependencia del clima y una mayor probabilidad de sobrevivencia.

Cuando se presenta el fenómeno conocido como El Niño, la precipitación disminuye en México (Mosiño y Morales, 1988), por lo que también se analiza la posible influencia de este fenómeno sobre el inicio de las lluvias y las probabilidades de sequía.

Finalmente, se desarrollan modelos de simulación de dicho fenómeno meteorológico-oceanográfico que nos permitan conocer más acerca de su dinámica y hacer posible su pronóstico de ocurrencia con cierta anticipación.

MODELOS MATEMÁTICO-ESTADÍSTICOS DE PREDICCIÓN

Con el uso de modelos de precipitación o de inicio de las lluvias puede obtenerse información útil en la planeación de la agricultura, partiendo de los datos de precipitación. Stern *et al.* (1979) consideran que hay que analizar diariamente la lluvia y las relaciones recurrentes para calcular la probabilidad de su distribución, el número de días con lluvia, así como la distribución de largos períodos de sequía. En áreas con una estación seca bien definida, los datos de inicio de las lluvias son importantes agroclimáticamente para conocer las formas de distribución probable. El evento que señala el inicio de las lluvias se define por un total acumulativo de precipitación en uno o dos días mayor de 20 mm, y que no se presente una sequía en los 15 días siguientes (Virmani, 1975; Stern, 1979).

CURVA LOGISTICA

Las curvas "s" son útiles en un gran número de casos para adaptar tendencias a períodos de mediano y largo plazo. Estas tendencias se caracterizan por ganancias pequeñas al principio, luego aumentan las ganancias, y finalmente por ganancias pequeñas, cuando la cantidad investigada alcanza su punto de saturación.

El término curva "s" se usa para denotar una adaptación de tendencia con la ecuación:

$$Y_{ct} = \frac{K}{1 + e^{a + bt}} \quad (1)$$

donde a, b son constantes, t es la variable independiente (generalmente el tiempo), e Y_{ct} es el valor de la tendencia.

Esta curva suele expresarse también en la forma:

$$Y_{ct} = \frac{K}{1 + 10^{a + bt}} \quad (2)$$

En ambos casos, la curva logística tendrá siempre una asíntota superior en K y una asíntota más baja en cero.

Para determinar los parámetros a, b y k se requiere seleccionar tres puntos, X_0, X_1, X_2 , equidistantes entre ellos (uno cerca del inicio del período, uno en la parte media y uno hacia el final). Si Y_0, Y_1 y Y_2 son los valores correspondientes, los tres parámetros se obtienen de:

$$K = \frac{2Y_0 Y_1 Y_2 - Y_1^2 (Y_0 + Y_2)}{Y_0 Y_2 - Y_1^2} \quad (3)$$

$$a = \log \frac{K - Y_0}{Y_0} \quad (4)$$

$$b = \frac{1}{N} \log \frac{Y_0 (K - Y_1)}{Y_1 (K - Y_0)} \quad (5)$$

donde N = número de años desde X_0 a X_1 , o de X_1 a X_2 .

La forma predictiva de la ecuación logística fue dada por May (1976) como:

$$Y_{ct+1} = Y_{ct} (1 + b (1 - Y_{ct}/K))$$

TECNICA DE PRONOSTICO DE LA PRECIPITACION ANUAL

La información histórica de la precipitación anual para

cada estación se analizará por medio de la técnica de alisamiento exponencial simple (Bazigos, 1978). La serie alisada X_t está dada por

$$\hat{X}_t = \alpha \sum_{j=0}^{\infty} (1 - \alpha)^j X_{t-j} \quad (6)$$

donde \hat{X}_t es la observación para el tiempo t, y α es un coeficiente de ajuste.

La forma predictiva fue dada por Bazigos (1978) como:

$$\hat{X}_{t+1} = (1 - \alpha) \hat{X}_t + \alpha \hat{X}_t \quad (7)$$

y la medida del error standard de \hat{X}_{t+1} es dada por:

$$S(\hat{X}_{t+1}) = \alpha |X_t - \hat{X}_t| + (1 - \alpha) \dot{S} \quad (8)$$

donde:

$$\dot{S} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |X_t - \hat{X}_{t-1}| \quad (9)$$

El valor de α se encuentra entre 0 y 1 y se determina por experimentos de prueba y error.

MODELO PREDICTIVO MEDIANTE TECNICAS DE CADENAS DE MARKOV

Este método consiste en hacer un pronóstico de los eventos de lluvia o sequía bajo suposiciones de recurrencia o memoria del sistema (Gabriel y Neumann, 1961).

Este modelo usa dos probabilidades condicionales:

$$P_1 = P_R [\text{Día húmedo} | \text{Día previo húmedo}]$$

$$P_0 = P_R [\text{Día húmedo} | \text{Día previo seco}]$$

Denotaremos como:

$$p_{ll,h}^i = \text{Probabilidad de lluvia } i \text{ días después de un día húmedo:} \\ = P + (1 - P) d^i \quad (10)$$

$$p_{ll,s}^i = \text{Probabilidad de lluvia } i \text{ días después de un día seco:} \\ = P + P d^i \quad (11)$$

donde

$$d = P_1 - P_0 \text{ y } P = \frac{P_0}{(1 - d)} \quad (12)$$

de donde resulta que:

$$P_{11,11}^i = \frac{P_0}{(1 - P_1 + P_0)} + \left(1 - \frac{P_0}{(1 - P_1 + P_0)}\right) (P_1 - P_0)^i \quad (13)$$

$$P_{11,s}^i = \frac{P_0}{(1 - P_1 + P_0)} (1 + (P_1 - P_0)^i) \quad (14)$$

Por este procedimiento se analizó la información diaria de las estaciones climáticas de Apizaco, Atlangatepec, Cuapiaxtla, Españita, Ixtacuixtla, Tlaxcala y Tlaxco (figura 1), para lo cual se realizó un conteo del número de días de lluvia después de lluvia, lluvia después de sequía y totales.

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Del trazo de curvas normales de precipitación, figura 1, se observa un eje transversal con un máximo en Españita y un máximo secundario en la región de Tlaxcala capital, Tepeyanco y Teolocho, mientras que los valores mínimos se encuentran en la parte este del estado.

El inicio de las lluvias se presenta en la región de Tlaxcala capital, Tepeyanco, Teolocho y Cuatenco durante la primera semana de mayo, con una probabilidad del 75%. Para la segunda y tercera semanas de mayo, el área de inicio de las lluvias va creciendo con probabilidades que van del 69 al 88%; para la cuarta semana de mayo, prácticamente en todo el estado se han iniciado las lluvias con probabilidades del 80 al 89% (figura 2).

El método de crecimiento logístico se utilizó para la simulación y pronóstico de la distribución de la precipitación acumulativa semanal en el año. La simulación se realizó para condiciones promedio en 30 años (1960-1990) y el pronóstico bajo condiciones de retroalimentación en el valor real observado semanal y para cuando sólo se conoce el valor de la precipitación en la semana del inicio de las lluvias. Tanto la simulación como el pronóstico en sus dos opciones dan valores próximos a la realidad, como puede observarse en la figura 3, para Tlaxcala, Tlaxco, Cuapiaxtla y Atlangatepec. En la Tabla 1 se proporcionan los valores de los coeficientes del modelo logístico (K, r, Y₀), para siete localidades del Estado, sus valores normales y las probabilidades de que se presente dicho comportamiento para cualquier año.

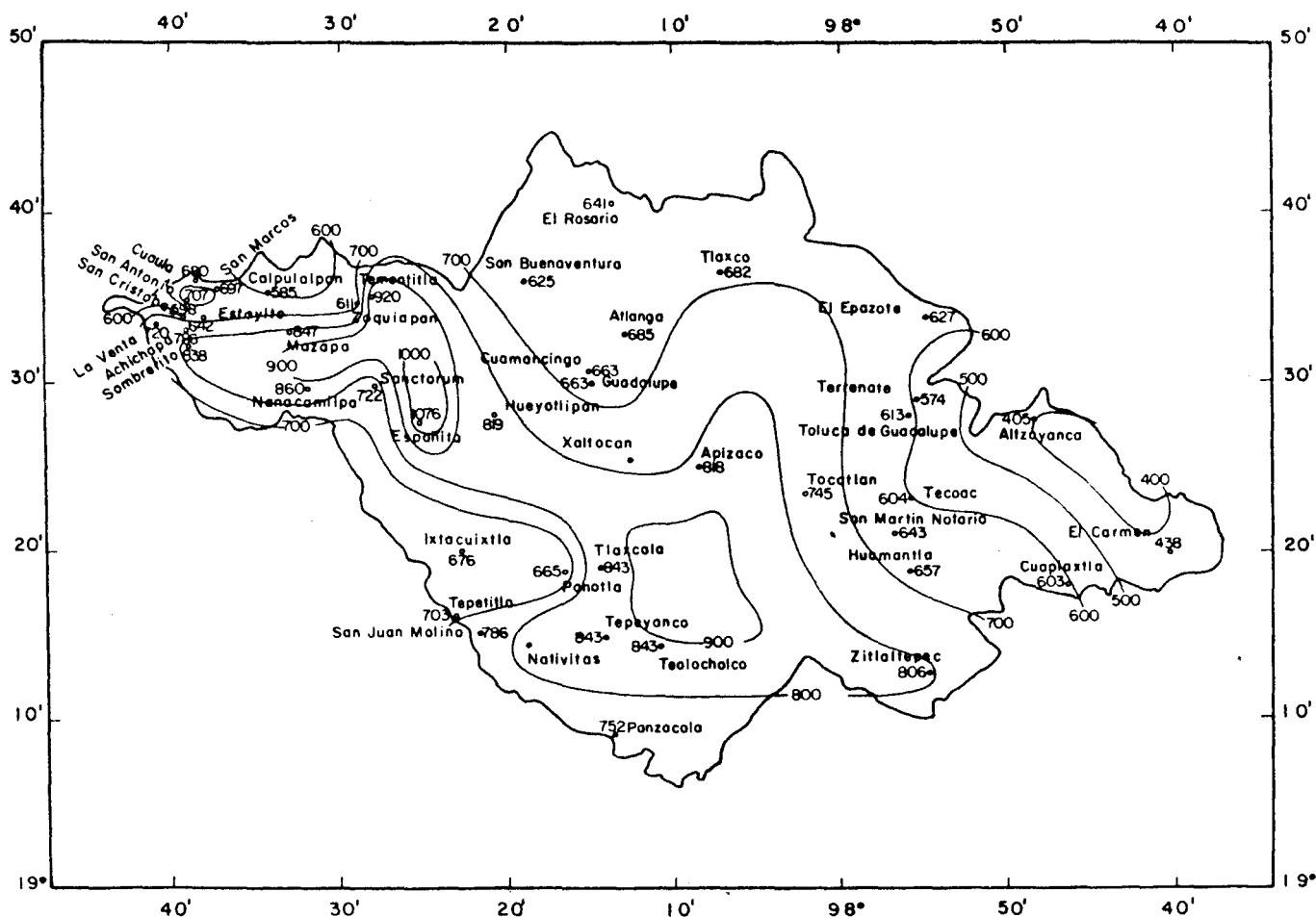


Fig. 1.

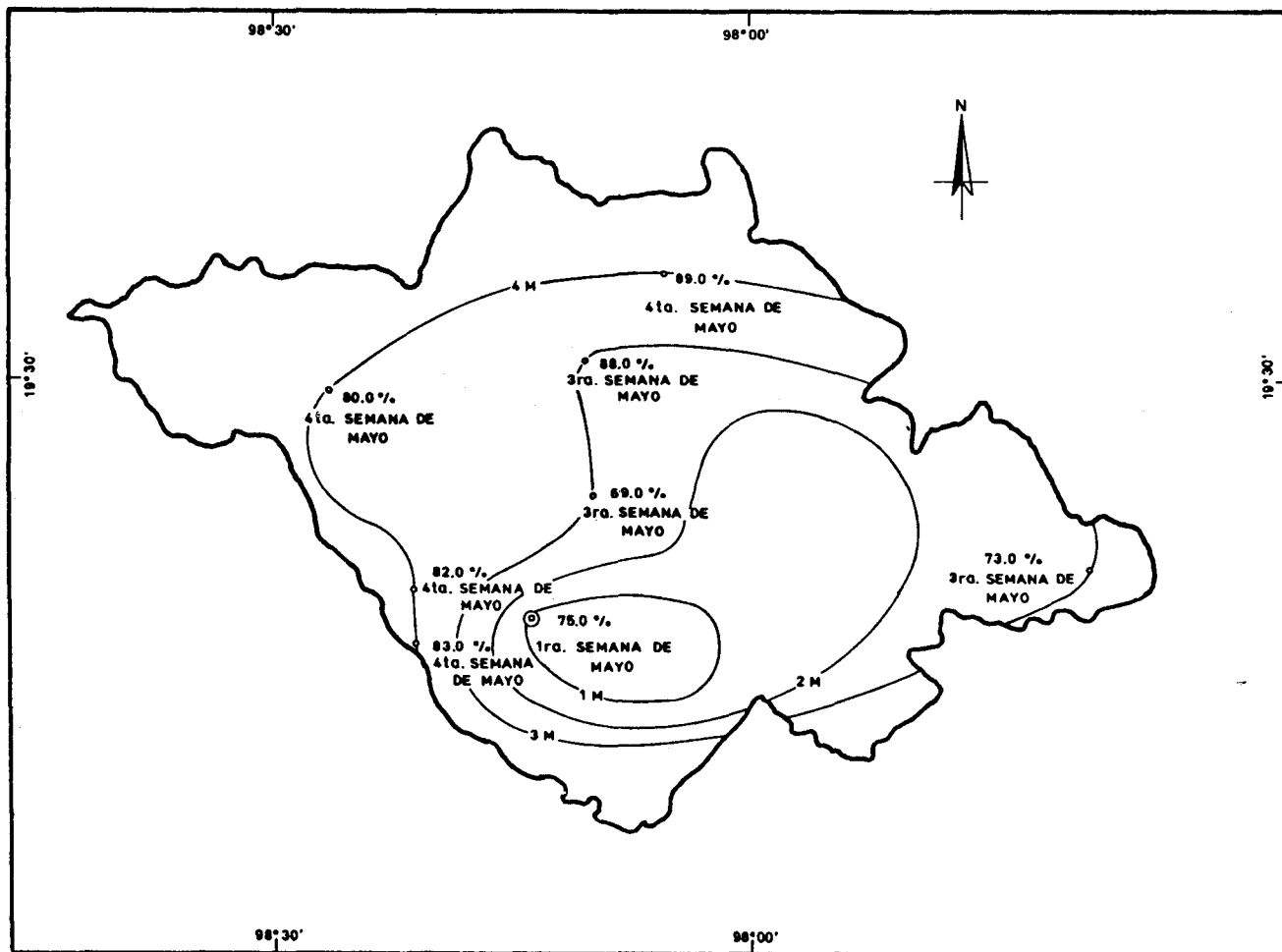


Fig. 2. Cálculo de las probabilidades para la semana del inicio de las lluvias con base en datos diarios, con el 70 al 90% de probabilidad.

La simulación de la precipitación total anual por la técnica de alisamiento exponencial simple sigue muy de cerca los valores observados; sin embargo, tiene el inconveniente de que para el pronóstico de 1990 se comporta como un fenómeno de persistencia, ya que el año anterior es el que tiene un mayor peso de influencia, por lo que el mejor uso de esta técnica sería para la determinación de información faltante en una serie histórica de tiempo (figura 4).

Las técnicas Markovianas para el cálculo de las probabilidades de lluvia a lo largo de siete días, para todos los meses del año, siguen un mismo comportamiento en Apizaco, Españita e Ixtacuixtla (figura 5), mientras que en Cuapixtla, Tlaxco y Atlangatepec difieren en los meses de junio a septiembre (figura 6). Obsérvese también que las probabilidades de lluvia después de día de lluvia o de día seco crecen y toman los mayores valores cuando queda establecida la temporada de lluvias; asimismo, se ve que la probabilidad de lluvia después de día seco empieza a ser mayor que la probabilidad de lluvia después de día de lluvia, con lo que queda perfectamente determinada la continuidad o persistencia de la lluvia, recupe-

rándose el sistema a sus condiciones iniciales para todo el estado para el mes de octubre.

De todo lo anterior podemos concluir que, de todas las técnicas de análisis utilizadas, fue el modelo logístico de simulación y pronóstico semanal de lluvia el que mejores resultados dio. El de alisamiento exponencial es adecuado para la simulación, mas no para el pronóstico. Finalmente, la cadena Markoviana de precipitación diaria, a lo largo de siete días, es potencialmente apta para la determinación homoclimática regional.

Con respecto al fenómeno El Niño, no se obtuvo ninguna correlación para los eventos moderados o débiles, y en lo que respecta a los eventos fuertes, en las dos veces que se presentaron durante el período considerado, en el de 1982 - 83 se observó un efecto de abatimiento en todas las estaciones que se analizaron, mientras que en el de 1972 - 73 los valores estuvieron tanto por arriba como por abajo de la normal (figura 4).

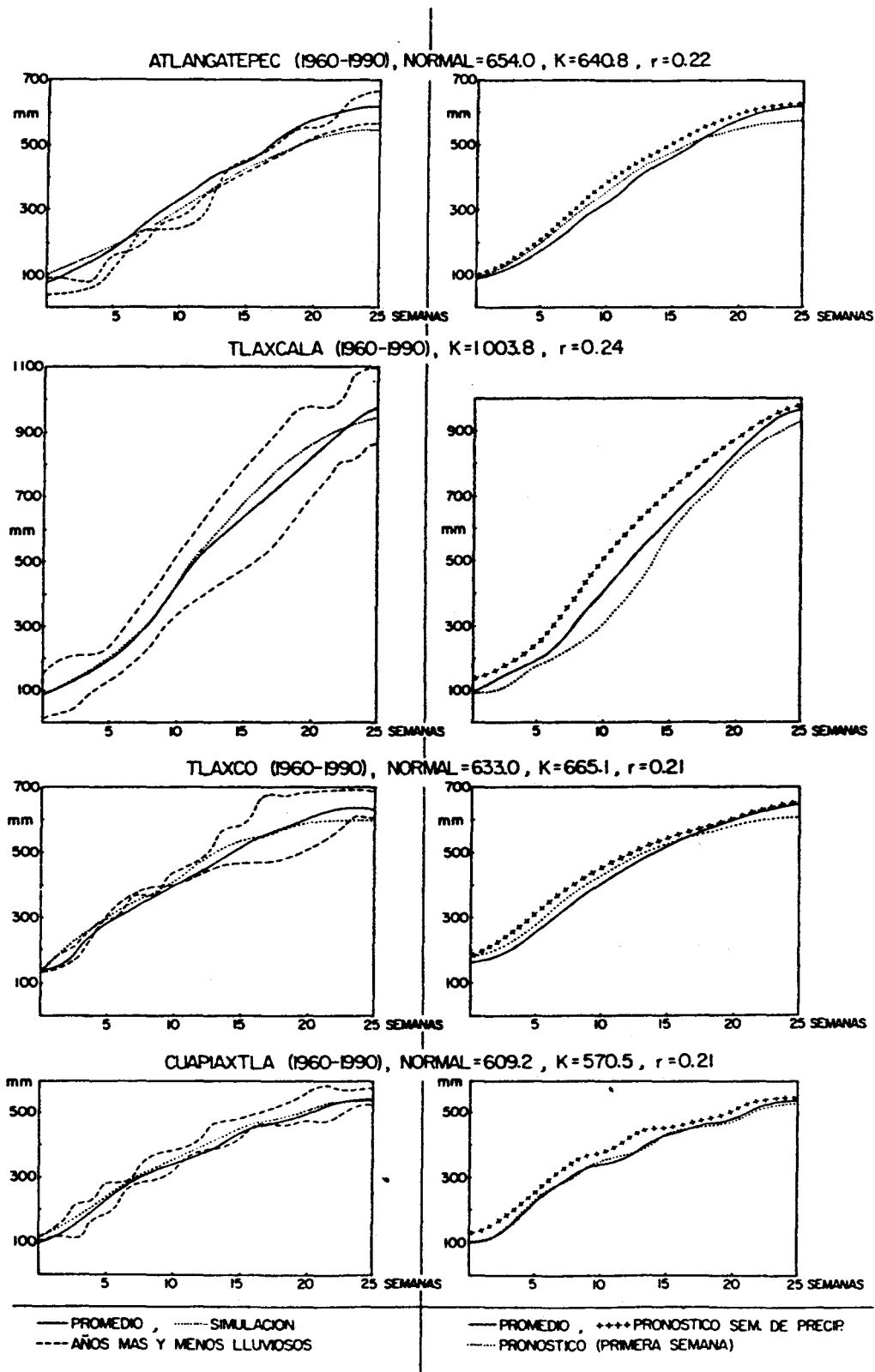
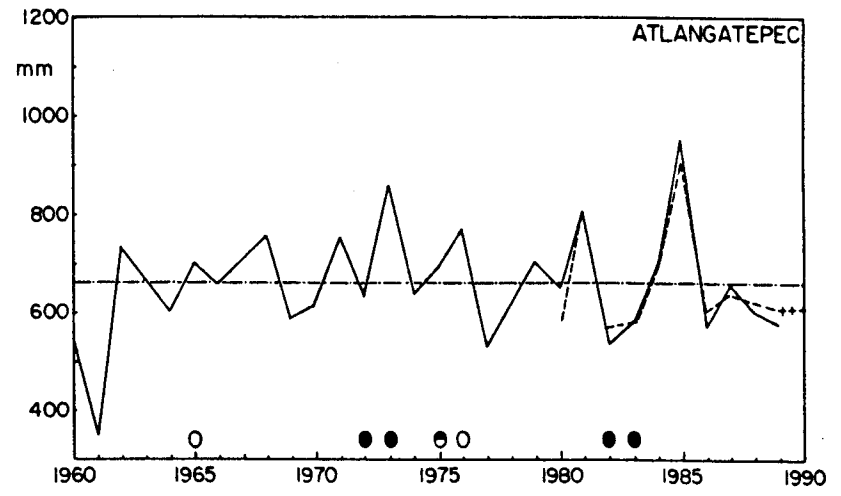
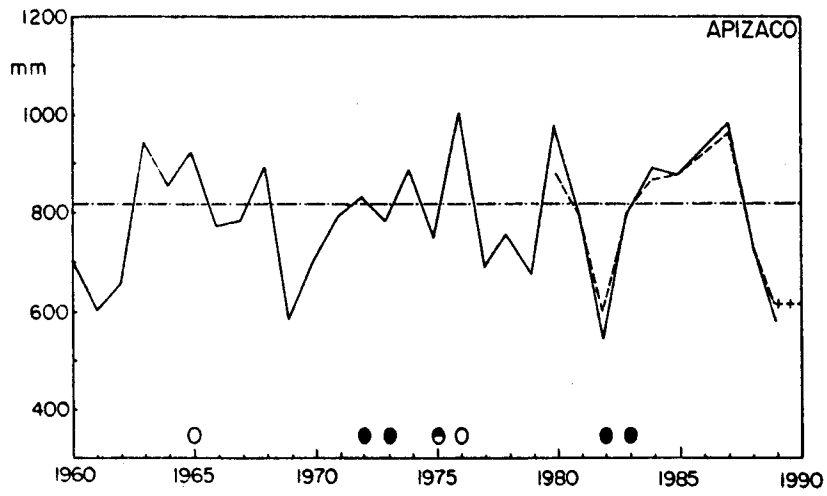


Fig. 3

Tabla 1

Valores de los coeficientes del modelo logístico para condiciones medias para siete estaciones.

LOCALIDAD	GRUPO (mm)	K	r	PROBABILIDAD DE OCURRENCIA	VALOR DE LA NORMAL (mm)	PRECIPITACION INICIAL (mm)
TLAXCALA	400-600	537	0.26	6 %	836	44.5
	601-800	690	0.25	43 %		31.6
	801	848	0.26	51 %		55.7
		1004	0.24	-		70.2
TLAXCO	400-600	458	0.22	12 %	683	49.3
	601-800	554	0.21	38 %		156.0
	801	645	0.22	31 %		111.0
		769	0.22	19 %		181.0
ATLANGATEPEC	400-600	562	0.23	34 %	654	98.3
	601-800	640	0.22	47 %		95.3
	801	744	0.23	17 %		139.6
		878	0.26	-		31.5
CUIPIAXTLA	400	-	-	6 %	609	16.0
	401-600	570	-	57 %		121.9
	601-800	794	0.21	37 %		132.0
	801	-	0.26	-		
IXTACUIXTLA	400-600	553	0.25	38 %	653	67.3
	601-800	771	0.20	54 %		112.0
	801	851	0.23	8 %		129.0
APIZACO	400-600	532	0.20	12 %	786	95.4
	601-800	756	0.22	52 %		169.0
	801	1078	0.22	36 %		120.5
ESPAÑITA	400-600	766	0.23	36 %	1018	107.9
	601-800	1470	0.25	64 %		247.0
	801	-	-	-		



— PRECIPITACION, - - - PROMEDIO, ····· SIMULACION, ○ NIÑO DEBIL, ◐ NIÑO MODERADO, ● NIÑO FUERTE
 ++++ PRONOSTICO

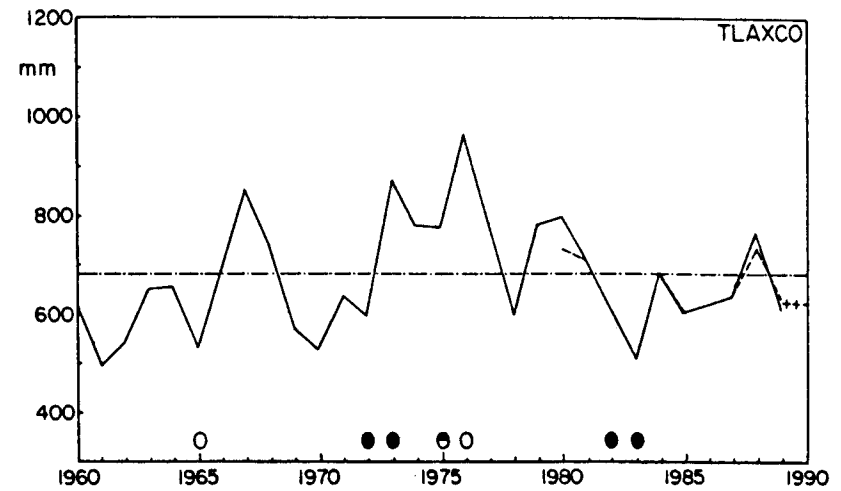
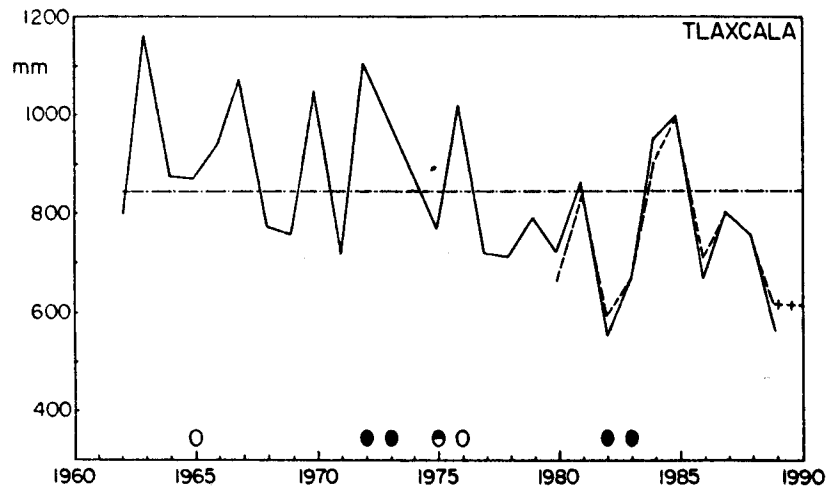


Fig. 4

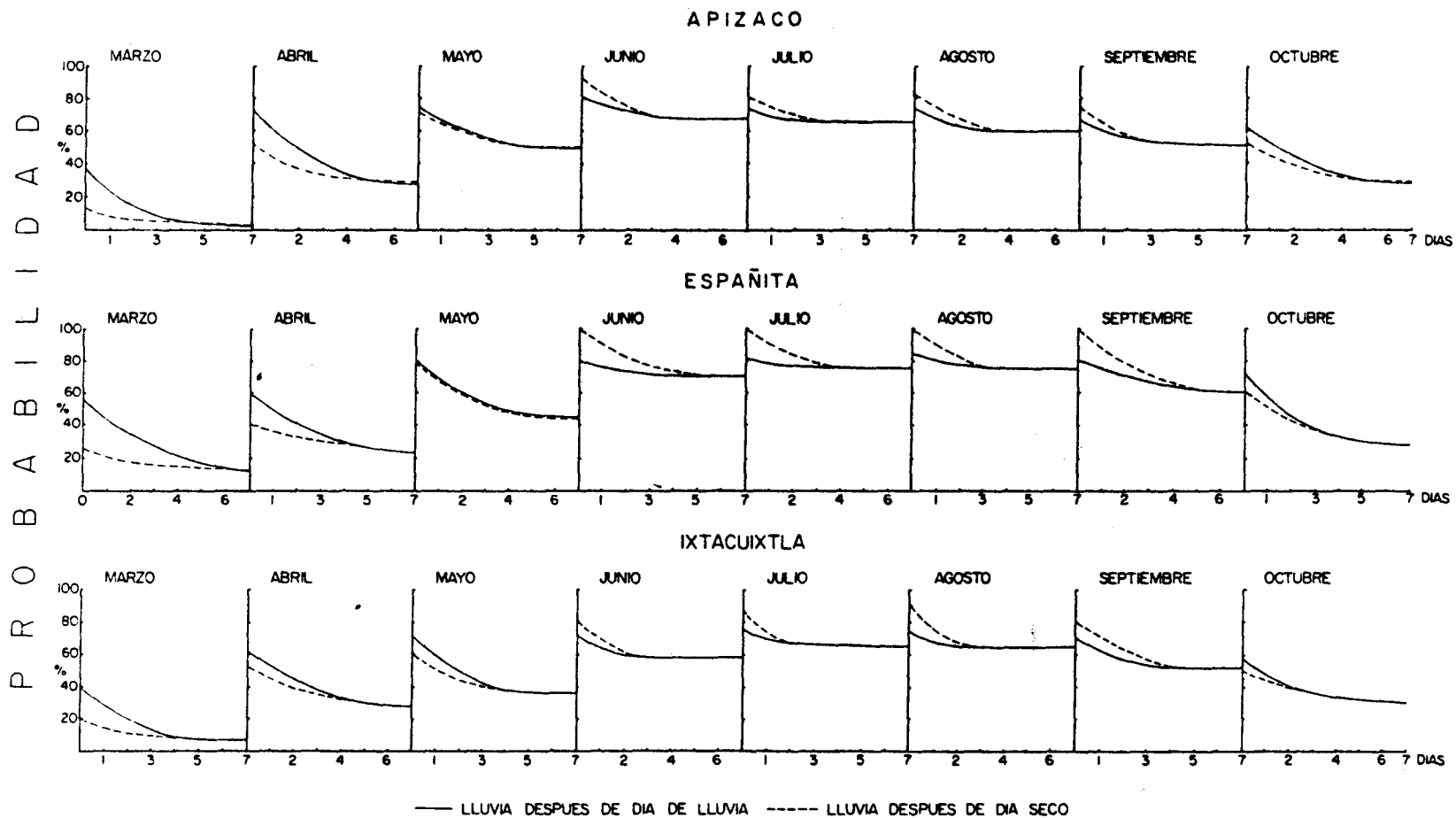


Fig. 5

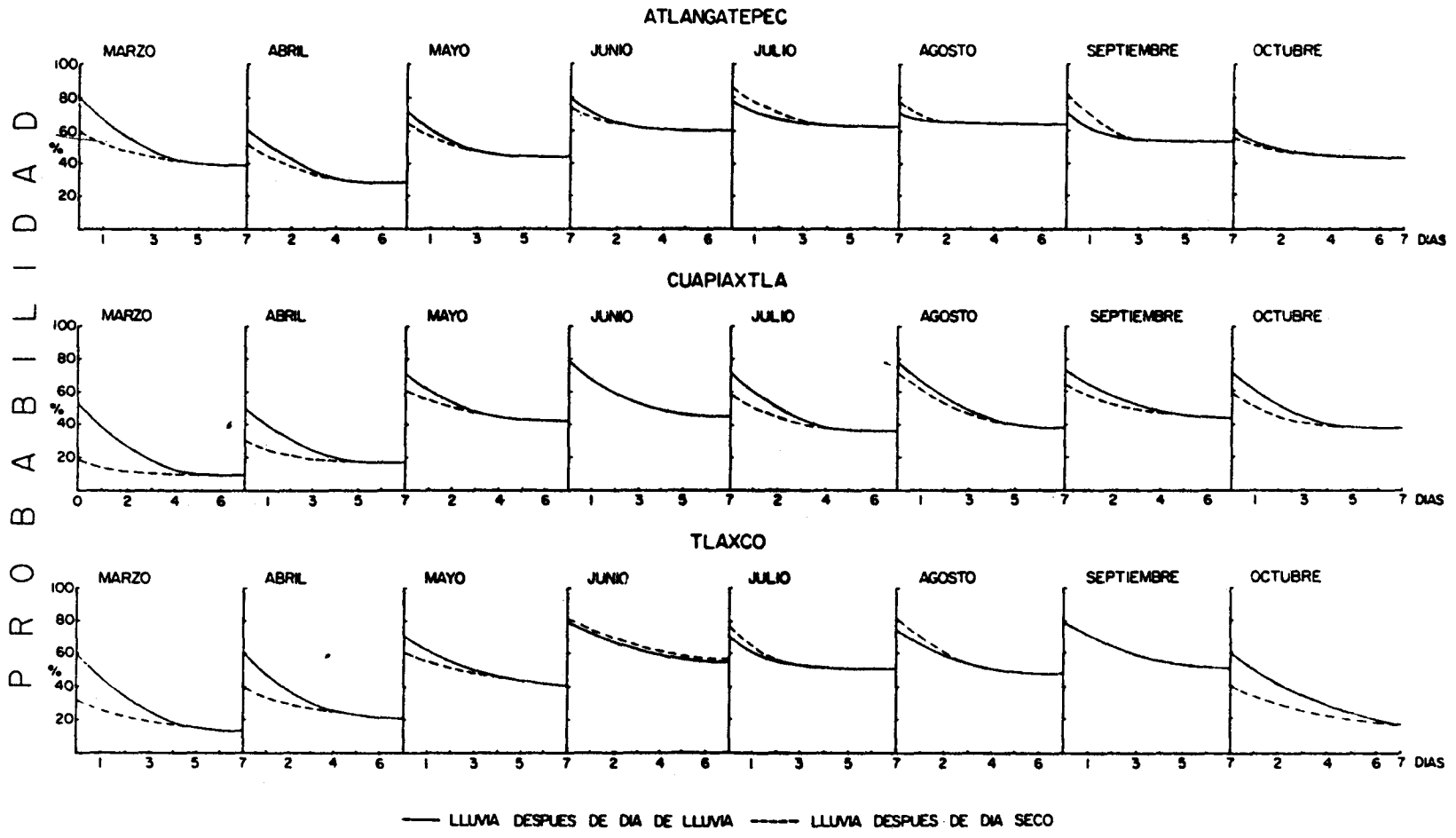


Fig. 6

Simulación y pronóstico de lluvias, Tlaxcala

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la ayuda prestada por Alfonso Estrada B. en la elaboración de las gráficas, y a la Comisión Nacional del Agua por proporcionar los datos utilizados en este estudio.

BIBLIOGRAFIA

- BAZIGOS, G. P., 1978. Analysis of Univariate Fisheries Statistical Time Series. Fisheries Information. Data and Statistical Service Fisheries Department. p. 116.
- GABRIEL, K. R. and J. NEUMAN, 1962. A Markov Chain Model for Daily Rainfall Occurrence in Tel Aviv. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 88, 90-95.
- JAUREGUI, E., 1968. Mesoclima de la Región Puebla-Tlaxcala. UNAM. 10-13.
- MAY, R. M., 1976. Mathematical aspects of the dynamics of animal populations. In: S. A. Levin (Ed.), Studies in Mathematical Biology. Providence, R. I., American Mathematical Society.
- MOSIÑO, P. A. y T. MORALES, 1988. Los Ciclones Tropicales, El Niño y las Lluvias en Tacubaya, D. F. Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM, México. *Geofís. Int.*, 27, 1, 61-62.
- STERN, R. D., 1979. Analysis of daily Rainfall at Samaru, Nigéria using a simple two-part model. Department of Applied Statistics. Reading Univ., Great Britain, *Arch. Met. Brokl. Ser.* 25, 123-135.
- STERN, R. D., 1981. The Use of Rainfall Models in Agricultural Planning-Department of Applied Statistics. University of Reading, Great Britain, 35-40.
-
- W. Ritter O. *+ y S. Guzmán R.+.
- * Departamento de Agrobiología, Ixtacuixtla, Universidad Autónoma de Tlaxcala.
- + Centro de Ciencias de la Atmósfera, Circuito Exterior, UNAM, México, D. F. 04510, Mexico.