

**EVALUACION DEL POTENCIAL Y LA ESTABILIDAD DE LA PRODUCCION AGRICOLA CON BASE EN INDICES CLIMATICOS PARA ALGUNAS LOCALIDADES DE LA REPUBLICA MEXICANA**

W. RITTER O.\*

A. M. NOGUEZ\*

I. ROSAS P.\*

(Recibido: 21 de mayo, 1987)

(Aceptado: 20 de agosto, 1987)

**RESUMEN**

Para la determinación del potencial de producción agrícola ( $P_G$ ) con base en índices climáticos, se analizaron los valores históricos de producción por hectárea en seis localidades de diferentes latitudes de la República Mexicana (Chihuahua, Chih.; Hermosillo, Son.; Durango, Dgo.; Morelia, Mich.; Chilpancingo, Gro. y Mérida, Yuc.) ajustándose por mínimos cuadrados con sus respectivos valores climáticos de índice de aridez (IA), en función de las disponibilidades de energía y precipitación. De esta forma se encontró la siguiente relación:  $P_G = 2063(IA)^{-.7206}$ , por medio de la cual se obtienen valores similares a los registrados para los sistemas naturales, deduciéndose una potencialidad climática intrínseca en cada uno de los ecosistemas en estudio.

Para determinar la estabilidad de producción y su vulnerabilidad a los factores climáticos de las diferentes zonas en estudio, se compara en magnitud el máximo eigenvalor negativo de la matriz de producción agrícola y natural ( $\Lambda$ ) (indicador de la dinámica de interacción biológica) con la varianza del índice de aridez ( $\sigma^2$ ) (indicador del efecto adverso ambiental). Se considera que la condición necesaria para que exista estabilidad es:  $\Lambda > \sigma^2$ .

Se observa que las zonas del norte (Chihuahua, Durango y Hermosillo) presentan una mayor inestabilidad que las del sur (Morelia y Chilpancingo). Mérida es la que presenta una mayor discrepancia con el patrón de comportamiento respecto de las otras localidades.

\* Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM, MEXICO.

## ABSTRACT

In order to determine the agricultural production potential ( $P_G$ ) based on climatic indexes the historic values of production per hectare in six different locations of Mexico (Chihuahua, Chih.; Hermosillo, Son.; Durango, Dgo.; Morelia, Mich.; Chilpancingo, Gro. y Mérida, Yuc.) were analyzed, adjusting them by least squares with the respective arid climatic indexes (AI), which are in function of the availability of energy and the rainfall, finding in this way the following relation:  $P_G = 2063(AI)^{-.7206}$ , through which it can be obtained values similar to the ones recorded for natural systems, thus deducing in each of them an intrinsic climatic potential.

To determine the production stability and its vulnerability to climatic factors of the different zones studied, the maximum negative eigenvalue of the agricultural and natural production matrix ( $\Lambda$ ) (indicator of the dynamics of biological interaction) is compared with the variance of the arid index ( $\sigma^2$ ) (indicator of the adverse ambient effect). It is considered that the necessary conditions for stability are:  $\Lambda > \sigma^2$ .

It is observed that in the northern zone (Chihuahua, Durango and Hermosillo) the instability present is major than in the southern zone (Morelia and Chilpancingo). Mérida is the one that presents a major discrepancy compared with the other areas.

## INTRODUCCION

Los potenciales de producción primaria en los ecosistemas terrestres son el inicio de una cadena de transferencias energéticas que desembocan en la disponibilidad de energía en forma de alimento (Cooper, 1975), lo que determina el grado de desarrollo y bienestar del hombre. En los diversos ecosistemas se presentan diferentes grados de rapidez en el almacenamiento de esa energía y tanto los potenciales de producción como la capacidad de respuesta y eficiencia son una resultante de perturbaciones ambientales estudiadas por la microclimatología (Lowry, 1970).

Los estudios microclimáticos son necesarios para conocer los mecanismos de adquisición, almacenamiento y disponibilidad de energía, tanto en los sistemas naturales como en los agrosistemas manejados por el hombre (Rosenberg, 1974). De esta forma, podemos conocer cuánta energía nos proporciona la naturaleza y con qué rapidez nos la cede, al igual que las fluctuaciones y sus valores promedio, mínimos y máximos y, lo que es mejor, su grado óptimo, importante y necesario para el manejo de cualquier recurso natural en explotación (Munn, 1970).

La influencia de cualquier factor ambiental en el campo de la producción agrícola no puede considerarse en forma aislada. Sin embargo, la radiación recibe una atención especial, ya que sus balances proporcionan la disponibilidad de energía para el desarrollo del microclima de las plantas e influye directamente en las respuestas fi-

siológicas de los vegetales (Oke, 1978). La radiación tiene un efecto directo sobre la convección, evaporación y fotosíntesis e indirecto en el control de la apertura estomática y, junto con otros factores tales como la extensión del mezclado vertical, la velocidad del viento y el abastecimiento de agua al suelo, es también responsable de la distribución vertical de temperatura, de la humedad del follaje y de las temperaturas tanto del suelo como del vegetal (Budyko, 1974). Los cultivos tienden a crear su propio microclima como respuesta a estas interacciones, lo que provoca diferentes grados de *stress*, resultante en una mayor o menor producción. Es necesario en el desarrollo de la agricultura, seleccionar las áreas en donde las características climáticas sean adecuadas, a fin de obtener en cada cultivo, índices de producción óptima. Al respecto, se han llevado a cabo diversas investigaciones que señalan la influencia directa de la variación de los parámetros meteorológicos en la producción agrícola (Michalczyk, 1979). Se ha estimado que la biomasa de la haba, comúnmente llamada "frijol de campo" (*Vicia faba L.*), está relacionada con la cantidad de radiación fotosintéticamente activa absorbida y con la humedad del suelo (Fasheun y Dennt, 1982). Para México, Ritter *et al.* (1986) determinaron los potenciales de producción primaria en diferentes ecosistemas naturales, observando que la producción estaba en función de la disponibilidad de agua y energía en cada sistema.

En el presente trabajo se pretende encontrar la relación existente entre la producción agrícola promedio por unidad de área de los principales cultivos en la zona y un índice climático que incorpore aspectos energéticos y de humedad. Asimismo, se analiza el comportamiento de la información agrícola en el tiempo, obteniéndose un índice de estabilidad de producción que, al ser comparado en magnitud con el efecto ambiental, nos da el grado de fragilidad de estos sistemas.

El área en estudio comprende seis localidades de la República mexicana ubicadas en diferentes latitudes y altitudes, siendo éstas: Hermosillo, Son.; Chihuahua, Chih.; Durango, Dgo.; Morelia, Mich.; Chilpancingo, Gro. y Mérida, Yuc. (figura 1).

Los valores de producción agrícola para las zonas en estudio se obtuvieron de los censos agrícolas de la Dirección General de Estudios de Información y Estadística de la SARH, principalmente para los años del período de los setentas y principios de los ochentas (figuras 4 a 8).

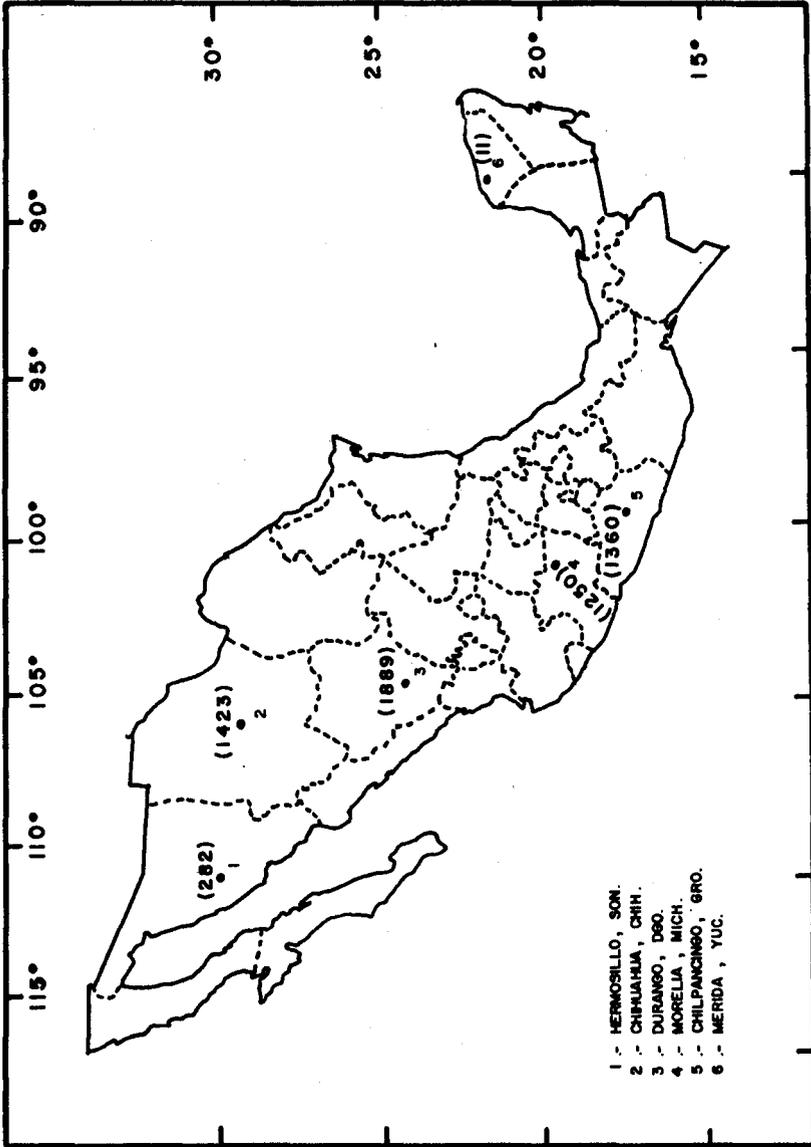


Fig. 1. Mapa de localización de las estaciones en estudio con sus respectivos valores de altitud.

## EVALUACION DE LOS FACTORES CLIMATICOS

*Balance de radiación*

El cálculo del balance radiativo para las diferentes zonas en estudio se obtuvo de la siguiente manera:

$$Q^* = (1 - \alpha) K\downarrow - L^* \quad (1)$$

donde  $\alpha$  es el albedo de la vegetación;  $K\downarrow$  es la radiación solar global incidente, estimada por Galindo y Chávez (1977), y  $L^*$  es el balance neto de radiación de onda larga, dado por Brunt (1932), como:

$$L^* = -\epsilon \sigma T^4 - 0.56 - 0.079 \sqrt{PV} (0.1 + 0.9 S/S_0) \quad (2)$$

donde al coeficiente de emisividad de la superficie ( $\epsilon$ ) se le da un valor unitario (Budyko, 1974) y  $\sigma$  es la constante de Stefan-Boltzmann; PV es la presión de vapor de 2 m sobre el suelo; S y  $S_0$  son la insolación observada y esperada o astronómica en horas, respectivamente.

La presión de vapor se calcula a partir de la humedad relativa (HR) y la presión de vapor de saturación (EL), como:

$$PV = \frac{HR \times EL}{100} \quad (3)$$

La insolación esperada ( $S_0$ ) se toma de Muhlia y Chávez (1980).

*Indice de aridez.*

El índice de aridez se calculó siguiendo los procedimientos de Budyko (1974) dados por:

$$IA = \frac{Q^*}{LP_r} \quad (4)$$

donde L es el calor latente de evaporación y  $P_r$  es la precipitación en mm.

Este índice de aridez tiene gran significancia ecológica y en especial agrícola, ya que es función de la energía y de la humedad, factores primordiales en todo tipo de estudio de producción vegetal.

## DETERMINACION DE LAS RELACIONES CLIMA-PRODUCCION

Son muchos los factores que pueden reducir o incrementar la producción, tanto en los sistemas naturales como en los cultivados (radiación solar, dióxido de carbono, temperatura, agua y nutrientes). Para los sistemas naturales la producción varía de una región a otra, encontrándose áreas de baja producción (desiertos) o zonas de alta producción (selvas). Las diferencias se deben a características biológicas intrínsecas de los vegetales y a su microclimatología de desarrollo. Bajo esta última idea se propone la siguiente consideración: debido a que el ambiente determina en cierta forma las características de los ecosistemas terrestres, podemos desarrollar modelos climáticos de producción vegetal y establecer relaciones de las variables climáticas con valores de producción.

Entre las variables climáticas a relacionar con la producción, el índice de aridez de Budyko (1974) tiene la conveniencia de unificar en un solo valor la disponibilidad energética y de agua, factores determinantes en la producción de cualquier cultivo o ecosistema (ecuación 4).

## CALCULO DE LA ESTABILIDAD PRODUCTIVA

Para determinar la estabilidad productiva de los diferentes sistemas en estudio se tomaron en cuenta las consideraciones establecidas por May (1969), las cuales en el caso de una simulación matemática determinística son: para pequeñas fluctuaciones en la población, la dinámica se describe por la matriz comunitaria y el tiempo de retorno al equilibrio, se mide por lo negativo de las partes reales de su eigenvalor ( $\lambda$ ). La dinámica de las interacciones biológicas ( $\Lambda = -\Sigma \text{real}(\lambda) \text{ max}$ ) tiende a restaurar a la población a su punto de equilibrio, mientras que las fluctuaciones del ambiente actúan para alejarla.

En un ambiente con fluctuaciones climáticas aleatorias ( $\sigma^2$ ), la estabilidad biológica es dada por  $\Lambda$  mayor que 0, pero si  $\Lambda$  es mucho mayor que  $\sigma^2$  las fluctuaciones poblacionales son relativamente pequeñas. Por ello la estabilidad o inestabilidad de la población depende del balance de poder entre la estabilización biológica y la aleatoriedad de las fluctuaciones ambientales.

La zona de Mérida, Yucatán, tiende a presentar un patrón de comportamiento clima-producción distinto del de las otras zonas en estudio, debido posiblemente a su tipo de suelo.

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

La importancia de determinar la producción primaria de los sistemas terrestres con base en parámetros climáticos se establece a través de la conocida relación suelo-vegetación-clima, de la cual se puede obtener grandes ventajas. Al considerar la relación entre el índice de aridez y los valores de producción agrícola de las zonas en estudio (promedio total de los principales cultivos de las zonas por unidad de área) se presenta una curva de ajuste por mínimos cuadrados, de la forma:  $P_G = 2063(IA)^{-.7206}$  la cual proporciona valores por cosecha semejantes a los obtenidos en sistemas naturales, determinados como  $P_N = 2016(IA)^{-.83139}$  (figura 2).

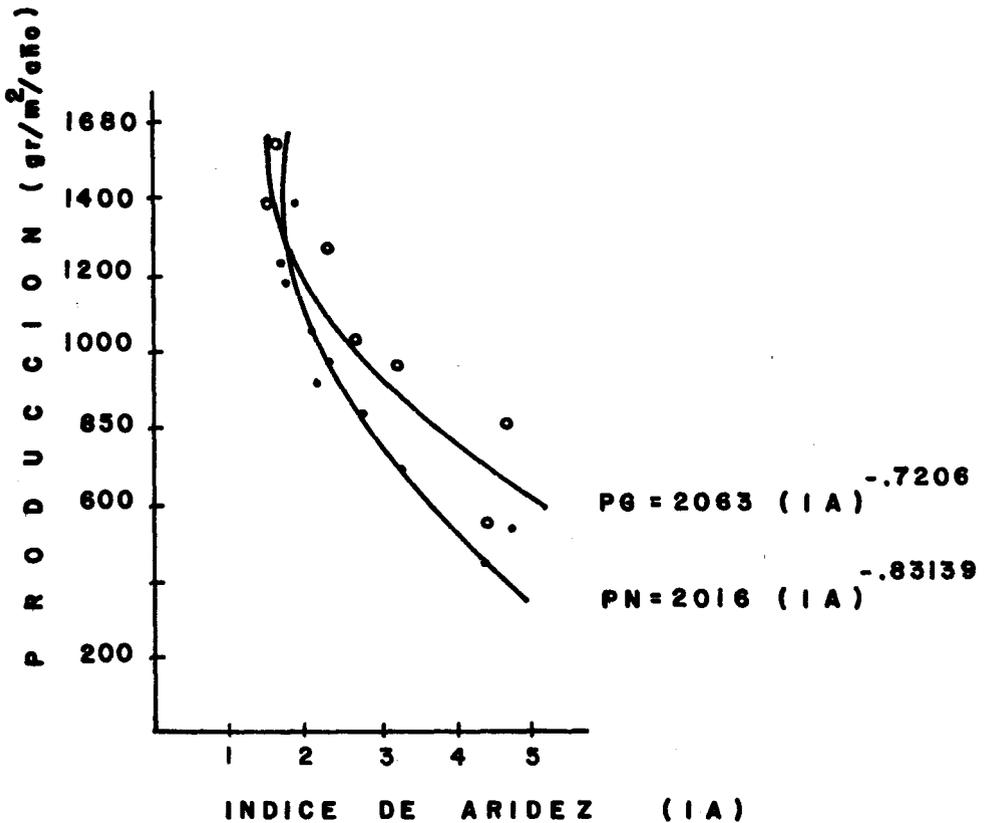


Fig. 2. Curvas de producción agrícola (P<sub>G</sub>) y natural (P<sub>N</sub>) en función del índice de aridez (IA) en la República Mexicana.

Esta semejanza productiva no se observa cuando se grafican los valores particulares de cada año para todas las zonas, observándose una gran aleatoriedad en su relación producción agrícola-producción natural (figura 3a). Sin embargo, promediando para todos los años y obteniendo un solo valor por estación (figura 3b), se observa cierta linealidad en la relación (con excepción de Mérida, Yucatán), lo que pone de manifiesto que las diferencias de producción en los sistemas las determinan las diferencias climáticas y de latitud. En la figura 3b se puede observar la diferencia del potencial productivo en cada ecosistema y en la 3a las diferencias anuales de producción por aleatoriedad meteorológica. Esto coincide con Golley (1961), quien sugiere que en la vegetación existe un gradiente en el almacenamiento de energía de acuerdo con la latitud y la altitud. En lo que se refiere a la altitud, no parece manifestarse esta relación en nuestros datos y la posible relación con la latitud debe tomarse con ciertas reservas, ya que fueron incorporadas en este análisis cuatro estaciones (León, Puebla, Salamanca y Guanajuato) cuya información sobre producción agrícola era de sólo cinco años.

En las figuras 4 a 9 se grafican para cada localidad las fluctuaciones de producción ( $\text{Kg}/\text{m}^2$ ) en el tiempo, los índices de aridez, la precipitación, los valores calculados del eigenvalor y la varianza ambiental, señalándose en cada caso la situación de estabilidad o inestabilidad existente.

El valor del máximo eigenvalor negativo de la matriz de producción agrícola y natural, comparado con la varianza ambiental ( $\sigma^2$ ) señala las zonas de mayor o menor riesgo y las más susceptibles de ser influenciadas por el cambio ambiental y la aleatoriedad climática, pudiendo presentarse perturbaciones mayores que su estabilidad productiva. Existe la posibilidad de que la agresividad ambiental sea mayor que el poder de recuperación poblacional.

Las localidades del norte del país presentan una mayor fragilidad climática (Chihuahua, Hermosillo y Durango) mientras que en las del sur (Morelia y Chilpancingo) se observa una mayor estabilidad.

En las zonas del sur, incluyendo a Mérida, se registran frecuentemente valores más altos en la producción natural respecto de la agrícola, mientras que en Durango sucede lo contrario; para las dos zonas más al norte (Chihuahua y Hermosillo) se presenta una alternancia en el rendimiento.

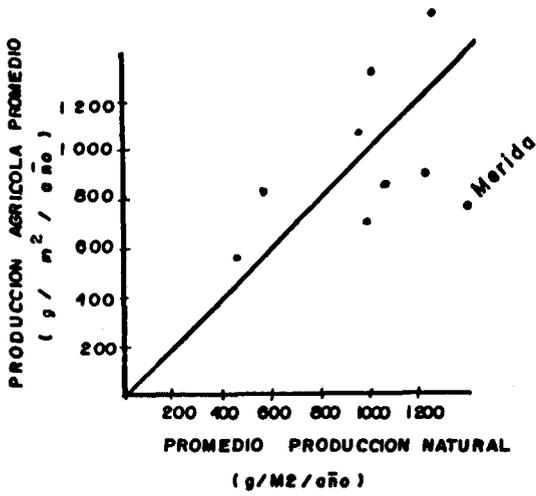


fig. ( a )

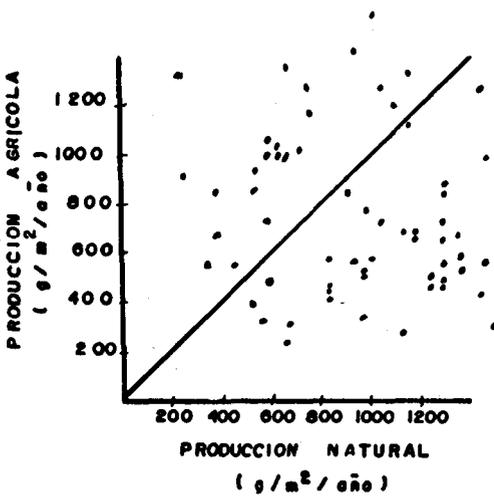


fig. ( b )

Fig. 3. Relación de los valores de producción natural y agrícola promedio sobre bases anuales (a) y para todos los años y cada zona en estudio (b).

CHIHUAHUA, CHIH.

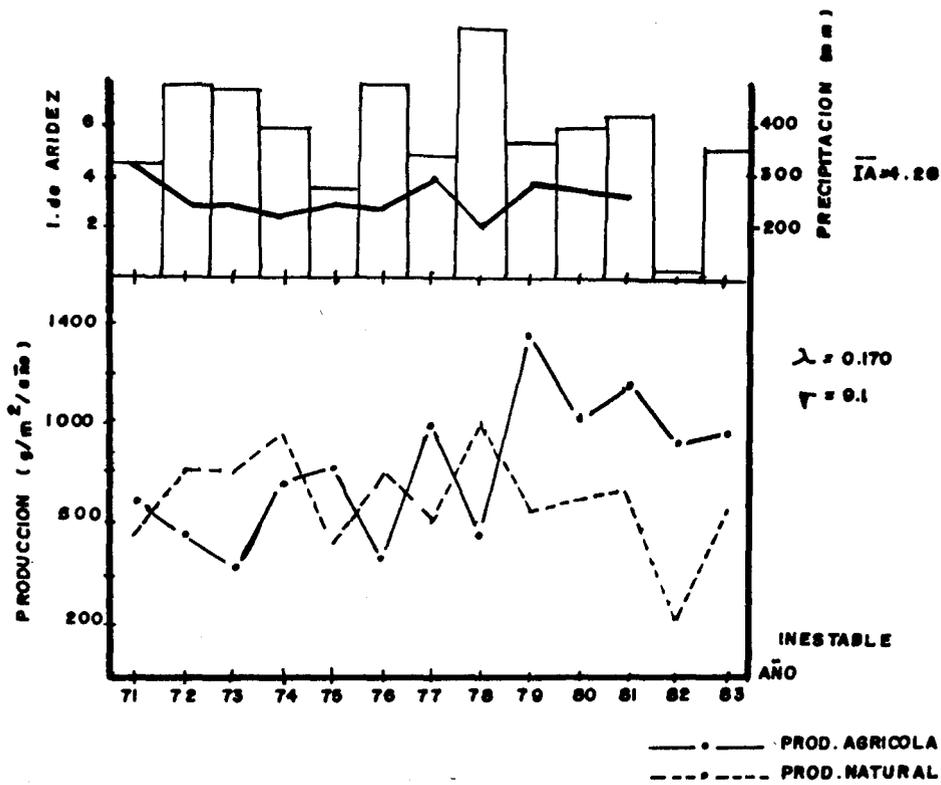


Fig. 4. Valores históricos de producción agrícola y natural; índices de aridez y precipitación; eigenvalor ( $\lambda$ ) y varianza ambiental ( $\sigma^2$ ); así como situaciones correspondientes de estabilidad ( $\lambda > \sigma^2$ ) e inestabilidad ( $\lambda < \sigma^2$ ). Para Chihuahua, Chih.

La estabilidad de producción en las estaciones analizadas parece ser fuertemente afectada por la cantidad de precipitación, presentándose inestabilidad en aquellas que contienen al menos un año con valores menores de 200 mm de lluvia (Chihuahua, Hermosillo y Durango).

La zona de Mérida, Yucatán, tiende a presentar un patrón de comportamiento clima-producción distinto del de las otras zonas, debido posiblemente a su tipo de suelo y de cultivos.

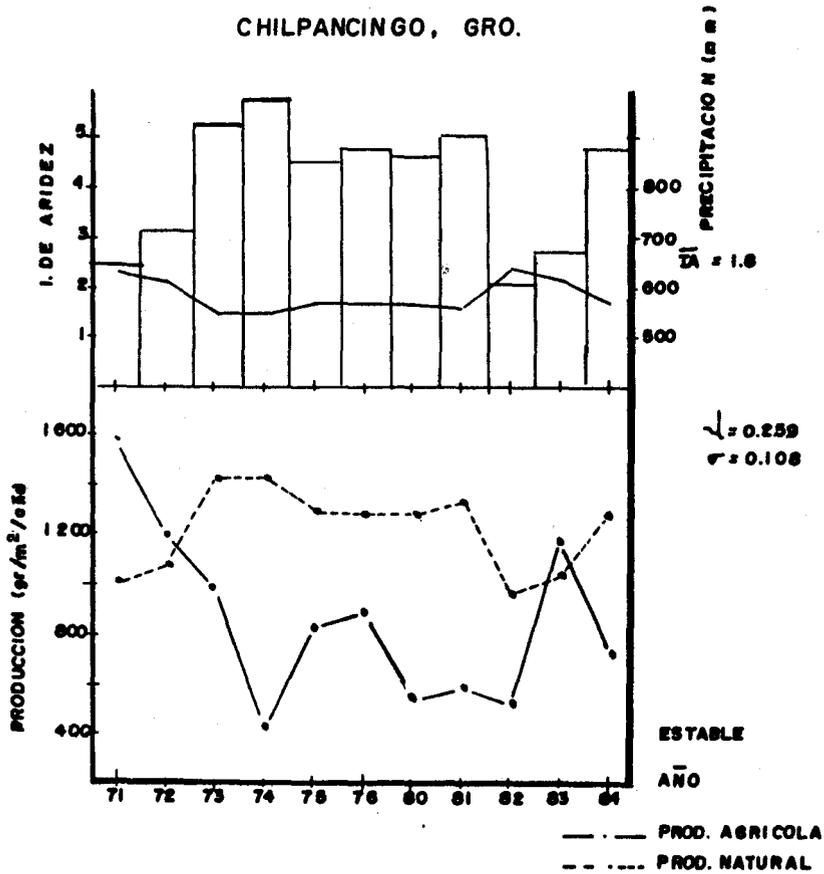


Fig. 5. Valores históricos de producción agrícola y natural; índices de aridez y precipitación; eigenvalor ( $\lambda$ ) y varianza ambiental ( $\sigma^2$ ); así como situaciones correspondientes de estabilidad ( $\lambda > \sigma^2$ ) e inestabilidad ( $\lambda < \sigma^2$ ). Para Chilpancingo, Gro.

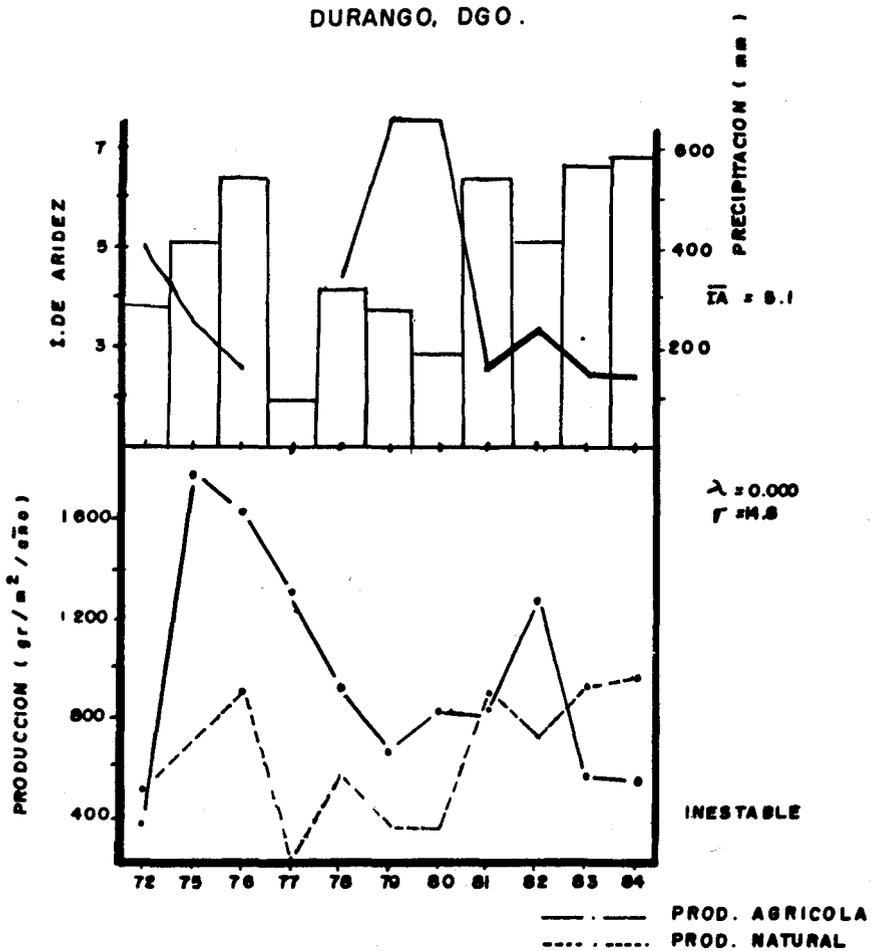


Fig. 6 Valores históricos de producción agrícola y natural; índices de aridez y precipitación; eigenvlor ( $\lambda$ ) y varianza ambiental ( $\sigma^2$ ); así como situaciones correspondientes de estabilidad ( $\lambda > \sigma^2$ ) e inestabilidad ( $\lambda < \sigma^2$ ). Para Durango, Dgo.

HERMOSILLO, SON.

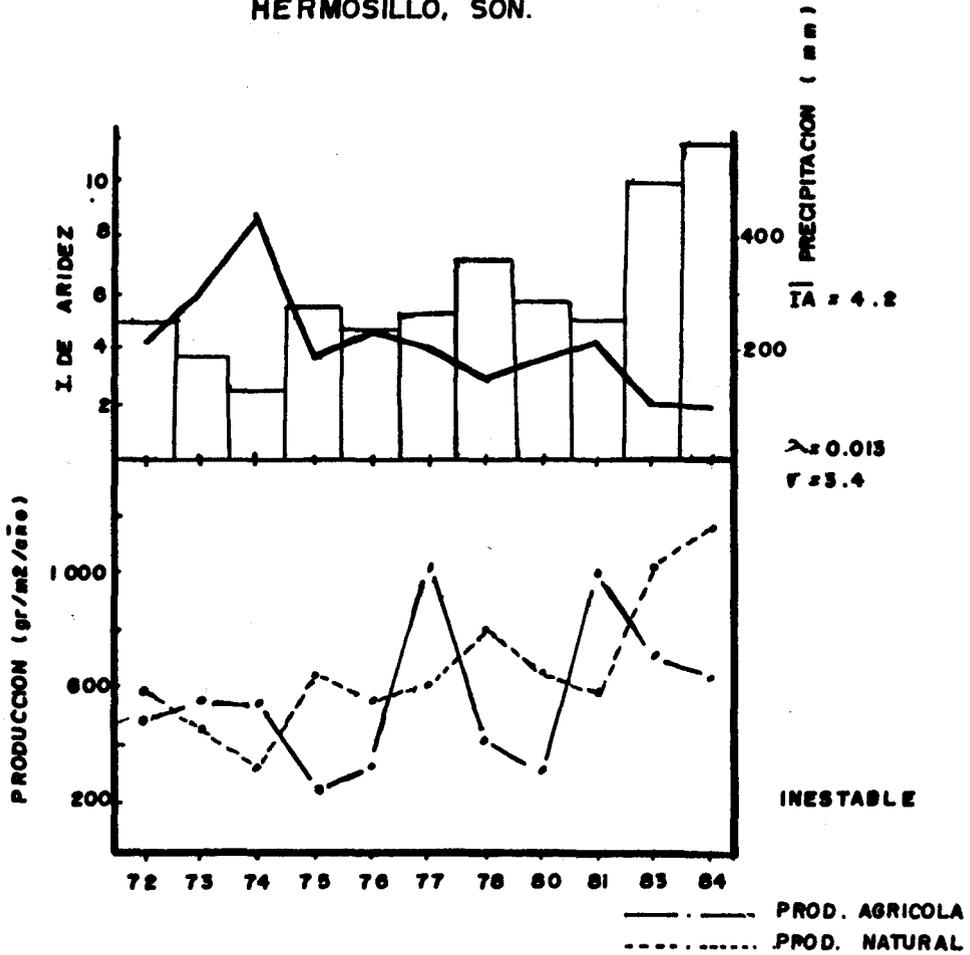


Fig. 7. Valores históricos de producción agrícola y natural; índices de aridez y precipitación; eigenvalor ( $\lambda$ ) y varianza ambiental ( $\sigma^2$ ); así como situaciones correspondientes de estabilidad ( $\lambda > \sigma^2$ ) e inestabilidad ( $\lambda < \sigma^2$ ). Para Hermosillo, Son.

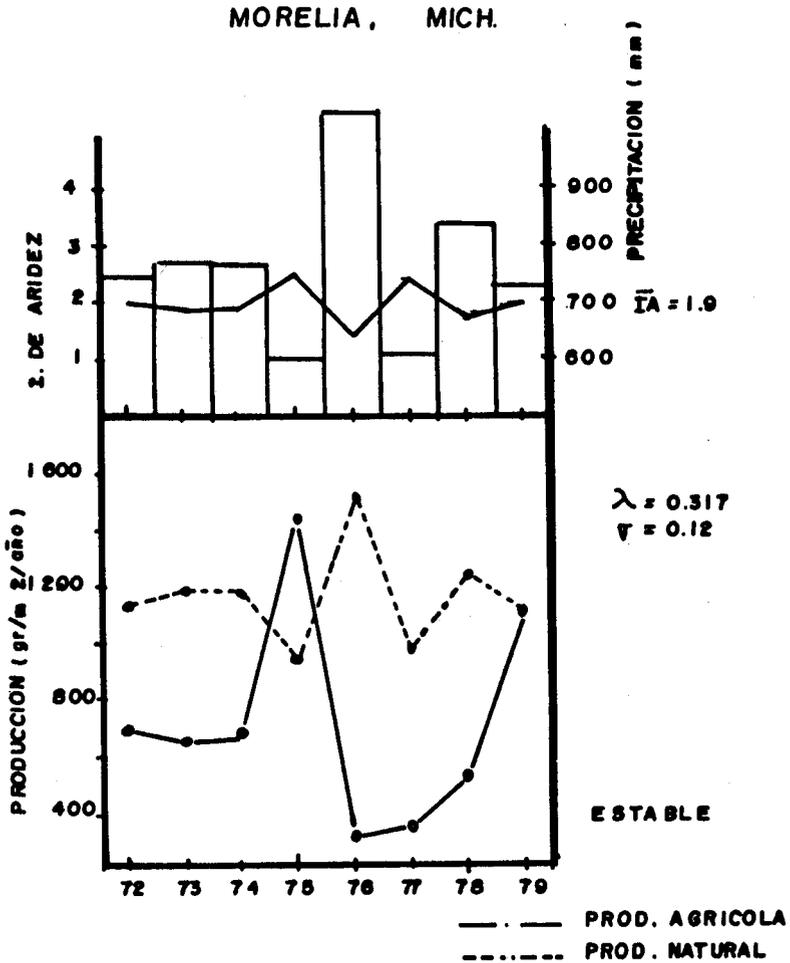


Fig. 8. Valores históricos de producción agrícola y natural; índices de aridez y precipitación; eigenvalor ( $\lambda$ ) y varianza ambiental ( $\sigma^2$ ); así como situaciones correspondientes de estabilidad ( $\lambda > \sigma^2$ ) e inestabilidad ( $\lambda < \sigma^2$ ). Para Morelia, Mich.

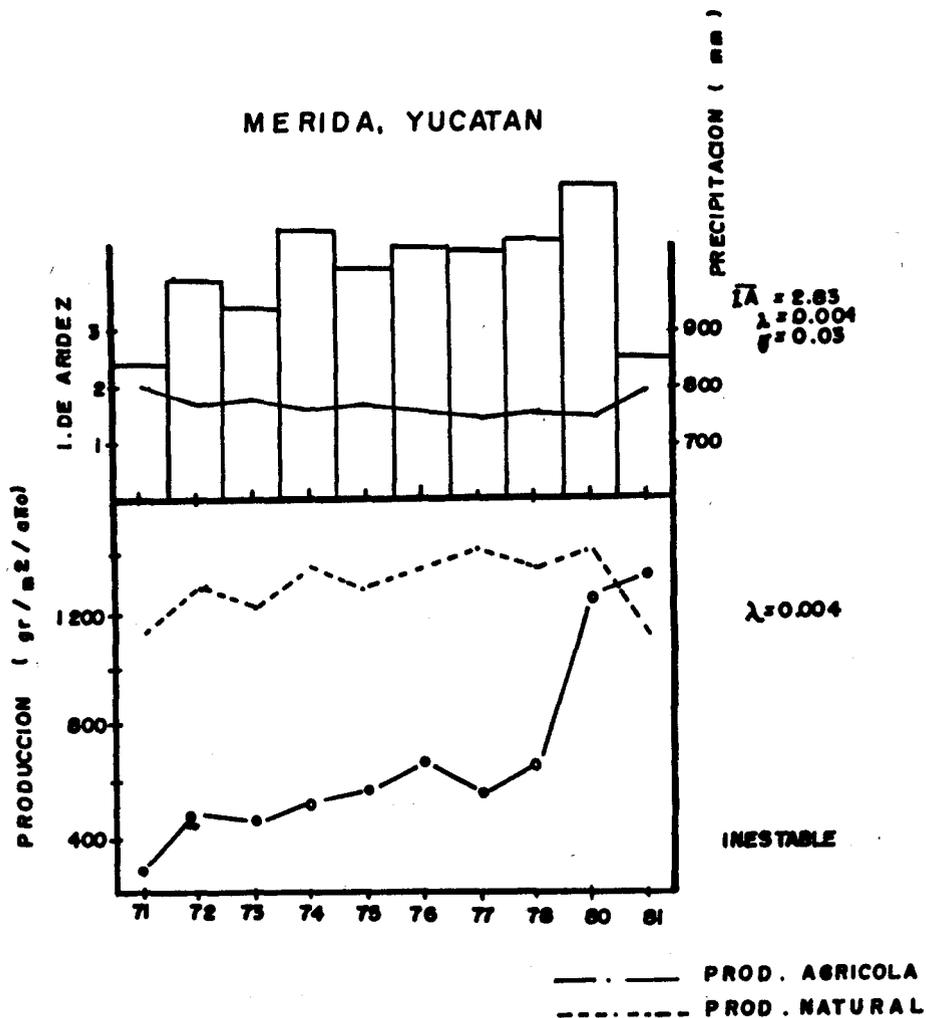


Fig. 9. Valores históricos de producción agrícola y natural; índices de aridez y precipitación; eigenvalor ( $\lambda$ ) y varianza ambiental ( $\sigma^2$ ); así como situaciones correspondientes de estabilidad ( $\lambda > \sigma^2$ ) e inestabilidad ( $\lambda < \sigma^2$ ). Para Mérida, Yuc.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se realizó con apoyo financiero de CONACYT, según el proyecto PCECBNA-021991. Agradecemos dicho apoyo.

## BIBLIOGRAFIA

- BRUNT, D., 1932. Notes on radiation in the atmosphere. *Quart. J. Roy. Met. Soc.* 58, 389-418.
- BUDYKO, M. I., 1974. Climate and life. Academic Press, U. D. A., 508 pp.
- COOPER, J. P., 1975. Photosynthesis and productivity in different environments. Cambridge University Press, London.
- FASHEUN, I. and M. D. DENNT, 1982. Interception of radiation and growth efficiency in field beans (*Vicia faba L.*). *Agric. Meteor.*, 26, 221-229.
- GALINDO, I. y A. CHAVEZ, 1977. Estudio del clima solar en la República Mexicana. Servicio Meteorológico Nacional, México, D. F.
- GOLLEY, F. B., 1961. Energy values of ecological materials. *Ecology*, 42, 581-584.
- LOWRY, P. W., 1970. Weather and life. Academic Press, New York, 336 pp.
- MAY, R. M., 1973. Estability and complexity in model ecosystems. Princeton Univ. Press, Princeton, N. J.
- MICHALCZYK, K. W., 1979. The effect of climatic variations on the significance of agricultural planning data. *Agric. Meteor.*, 20, 221-229.
- MUHLIA, A. y A. CHAVEZ, 1980. Insolación y la radiación solar en el tope de la atmósfera para las latitudes que cubren la República Mexicana. *Anales, Inst. Geof.*, 26, 127-149.
- MUNN, R. E., 1970. Biometeorological Methods. Academic Press, New York, 336 pp.
- OKE, T. R., 1978. Boundary layer climatics. John Wiley and Sons, New York, 372 pp.
- RITTER, W. O., M. E. GARAY y R. S. GUZMAN, 1986. Balances de radiación y potenciales de productividad primaria en algunos ecosistemas terrestres de la República Mexicana. *Geofís. Int.*, 25, 2, 285-314.
- ROSENBERG, N. J., 1974. Microclimate: The biological environment. John Wiley and Sons, New York.