

El cambio climático en la década de los ochenta y su evaluación a través de parámetros agroclimáticos

Lorenzo Armando Aceves Navarro
José Francisco Juárez López*

En la década de los ochenta se señalaba que las recientes fluctuaciones climáticas y sus repercusiones en la agricultura mundial habían creado las condiciones para que científicos de varios países especularan sobre la posibilidad de un cambio climático. En esa época, los científicos diferían en el tipo de cambio, pero todos coincidían en que en las regiones templadas de las latitudes medias se presentarían anomalías en las temperaturas, que fluctuarían entre 2 y 4 °C; estas anomalías generarían caos y desastres en las regiones agrícolas de EU y de la ex-URSS. La realización de este análisis de la década de los ochenta es importante porque muestra cómo la comunidad científica, con base sólo en datos climatológicos disponibles en ese momento, realizaba afirmaciones contradictorias sin tener un punto de confirmación de la posible respuesta de los organismos poiquilotérmicos (plantas e insectos) al supuesto enfriamiento o calentamiento. Registros climatológicos diarios entre 70 y 91 años (1895 a 1985) de trece estaciones meteorológicas del estado de Nebraska (región centro norte de EU), fueron utilizados para desarrollar 10 parámetros agroclimáticos cuya ocurrencia y variación temporal permiten determinar y evaluar si durante ese período el clima realmente estaba cambiando, y el sentido de dicho cambio. Con fines de ejemplificación y para no hacer repetitivo el documento, se presentarán los resultados de la estación de Albión (con un registro de 86 años), seleccionada como la más adecuada para evaluar un posible cambio climático, porque en este condado ocurren los límites de adaptación de la franja maicera y sorguera de EU. Los resultados obtenidos en Albión (una de las trece estaciones estudiadas), son idénticos a los obtenidos en las 12 estaciones restantes, para los 10 parámetros agroclimáticos estudiados. Los resultados muestran que el inicio, final y duración de las heladas, los períodos de crecimiento para maíz y trigo, así como las fechas de ocurrencia de determinadas etapas fenológicas, la cantidad de precipitación esperada y la capacidad térmica durante dicho período, no muestran una clara y definitiva tendencia que indique que esté ocurriendo un cambio climático.

El clima varía año con año y de tiempo en tiempo en una misma localidad, pero las fluctuaciones climáticas en la década de los ochenta y sus repercusiones en la agricultura mundial han ocasionado que científicos de varios países especulen sobre la posibilidad de que esté ocurriendo

un cambio climático. Para ello han desarrollado modelos que pronostican las posibles consecuencias en la producción de granos básicos en las regiones templadas de las latitudes medias asociados a dicho cambio¹.

¹ Boer, G. y N. McFarlane, "Greenhouse Gas Induced Climate Change Simulated with the CCC Second Generation General Circulation Model" en *American Meteorology Society*, vol. 5, Boston, Mass., octubre 1992, pp. 1045-1077.

Ayudados en datos, los climatólogos predicen dos puntos de vista contradictorios respecto al cambio. Un

Schlesinger, M. y X. Jiang, *Revised Projection of Future Greenhouse Warming*. Urbana: University of Illinois at Urbana-Champaign, Department of Atmospheric Sciences, Nature-London, 1991, pp. 219-221.

Shukla, J.; C. Nobre y P. Sellers, "Amazon Deforestation and Climate Change" en *Science*. Washington, D.C.: American Association for the Advancement of Science, marzo 16, 1990, núm. 1, vol. 263, pp. 18-25.

* Colegio de Postgraduados-Campus Tabasco; Profesores-Investigadores.

grupo de científicos, basados en el comportamiento del clima en años recientes y en mediciones del grosor del hielo en los casquetes polares, sostiene que la tierra se está enfriando y que pronto se dará origen a una “pequeña Edad de Hielo”. El otro grupo propone que de hecho el planeta se está calentando y que pronto presenciaremos una “pequeña Edad Tropical”. En lo que ambos grupos coinciden es que está ocurriendo un cambio climático, y pronostican anomalías en el patrón de distribución de la temperatura de 2 a 4°C, suficientes para generar caos y desastres en las fajas maiceras y trigueras de EU y de la ex-Unión Soviética, con la consiguiente desestabilización económica y política a nivel mundial². Sin embargo, la opinión más común entre los climatólogos parece estar a favor de la idea de un calentamiento progresivo de la atmósfera a nivel global. Esta idea se ha visto reforzada debido a que en los últimos 40 años se han registrado evidencias de una tendencia en la acumulación progresiva en la atmósfera de gases que absorben la radiación infrarroja y que son de larga persistencia (CO₂, N₂O, O₃, CH₄ y clorofluocarbonos), mismos que pueden alterar el clima del futuro. La creciente acumulación de estos gases obstruiría el escape de la radiación de onda larga, la cual permanece atrapada en la atmósfera reforzando el llamado “efecto de invernadero”. Este efecto, se asegura, ocasionaría un calentamiento progresivo a nivel macroclimático, desestabilizando principalmente las actividades agrícolas de las regiones templadas del mundo.

Existe la preocupación de que incrementos en la concentración de estos gases en la atmósfera desemboquen en un cambio climático cuya intensidad sea proporcional a la tendencia del incremento en la temperatura. Una discusión más completa de la contribución individual de cada uno de estos gases al calentamiento futuro de la atmósfera es presentada por diversos autores³.

² Bandyopadhyaya, J., “Climate and World Order. An Inquiry into the Natural Cause of Underdevelopment” en *Humanities Pres.* Atlantic Highlands, N.J., 1983, 178 pp.

³ Trabalka, J. R. y D. E. Reichle (editores), *The Changing Carbon Cycle. A Global Analysis.* New York: Springer-Verlag, 1986, 587pp.

Ramanathan, V.; R. J. Cicerone; H. B. Singh y J. T. Kiehl, *Trace Gas Trends and Their Potential in Climatic Change.* *J. Geophys. Res.*, 1985, 90: 5547-5566.

Rasmussen, R. A. y M. A. Khalil, “Atmospheric Trace Gases: Trends and Distributions Over the Last Decade” en *Science*, 1986, 232: 1623-1624.

Brasseur, G. y S. Solomon, *Aeronomy of the Middle Atmosphere.* Dordrecht, Netherlands: D. Reidel Pub. Co., 1984, 441 pp.

Wang, W. C.; Y. L. Yung; A. A. Lacis et al., “Greenhouse Effects due to Man-made Perturbations of Trace Gases” en *Science*, 1976, 194: 685-690.

Weiss, R. V., *The Temporal and Spatial Distribution of Tropospheric Nitrous Oxide.* *J. Geophys. Res.*, 1981, 86: 7185-7195.

Modelos de predicción del posible impacto de un cambio climático sobre la producción de cereales en la faja maicera y triguera de EU han sido elaborados por Thompson, Neild y Rosenzweig⁴. Neild, Richman y Seeley⁵ fueron los primeros en proponer el uso de modelos fenológicos para simular la respuesta de un cultivo a posibles cambios en la temperatura. Ellos concluyen que tan sólo una disminución de 2°C causaría una reducción severa en el período de crecimiento (PC) del maíz en la faja maicera. Asimismo, un incremento de tan sólo 2°C aumentaría el peligro de heladas en el anticipado rompimiento del letargo del trigo de invierno y en siembras tempranas de maíz, creando la falsa percepción de que el clima se está enfriando.

En el presente estudio se utilizaron datos históricos diarios de precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima de un período de entre 70 y 91 años (1900-1985) en trece estaciones meteorológicas del estado de Nebraska, EU, así como modelos fenológicos de híbridos y variedades de maíz y trigo que actualmente se cultivan en esa región, esto con el objetivo de evaluar la respuesta fenológica de dichos cultivares a los supuestos cambios. Para ello se desarrollaron 10 parámetros agroclimáticos, con el fin de evaluar a través de su variación y tendencia temporal si durante ese tiempo hay señales que indiquen que está ocurriendo un cambio climático.

Ashmore, M. R. y J. Bell, “The Role of Ozone in Global Change” en *Ann. Bot. Londres: Academic Press*, junio 1991, vol. 67, supl. 1, pp. 39-48.

Elichegaray, C., “Problems Related to Tropospheric Ozone: The Greenhouse Effect, Acid Rain, etc.” en *Pollution-Atmospherique*. 1990, 128: 427-430.

Crosson, P. R., “Climate Change and Mid-latitude Agriculture: Perspectives on Consequences and Policy Responses” en *Climate Change. Resources for the Future.* Washington, D.C., 1989, pp. 1-2, 51-73.

Fishman, J., “The Global Consequences of Increasing Tropospheric Ozone Concentration” en *Chemosphere.* Langley: Atmospheric Science Div., NASA, 1991, pp. 685-695.

Bouwman, A. F., “Inputs to Climatic Change by Soil and Agriculture Related Activities” en *Developments in Soil Science.* Wageningen, Netherlands: International Soil Reference and Information Centre, 1990, pp. 15-30.

⁴ Thompson, L. M., “Weather Variability, Climatic Change, and Grain Production” en *Science*, 188 (4188): 535-541.

Neild, R. E., *The Complexity of Measuring the Impact of Possible Climatic Change on Agriculture.* Trad. Neb. Acad. Sci., vol. VI, 1978, pp. 135-139.

Rosenzweig, C., “Climate Change and CO₂ Effects on Wheat and Corn in the Great Plains” en *19th Conference on Agricultural and Forestry Meteorology.* Charleston, South Carolina: American Meteorological Society, 7-10 marzo, 1989, J26-J29.

⁵ Neild, R. E.; H. N. Richman y M. W. Seeley, *Impacts of Different Types of Temperature Change on the Growing Season for Maize.* *Agric. Meteorol.*, 1979, 20: 367-374.

Objetivos

El objetivo del presente estudio es evaluar la posibilidad de un cambio climático mediante el uso de diez diferentes parámetros agroclimáticos en una localidad con registros climatológicos diarios durante el periodo de 1900 a 1985.

Hipótesis

La hipótesis de trabajo es que los registros climatológicos históricos diarios no muestran evidencias de que está ocurriendo un cambio climático.

Procedimiento

Nebraska y las grandes planicies centrales de EU se caracterizan por poseer un clima muy variable. Por su ubicación, este estado es ideal para estudiar los efectos de los cambios en el clima sobre la producción agrícola. Aquí se localizan los límites de adaptabilidad del maíz y sorgo. El oeste de Nebraska es tan seco, que no se puede cultivar maíz de secano. El noroeste es muy frío y el período de crecimiento es muy corto para que se pueda adaptar el sorgo, aun bajo condiciones de riego.

En EU son varias las estaciones meteorológicas que cuentan con archivos históricos de casi 100 años de registro. Por ejemplo la estación de Albión, ubicada en el noreste de Nebraska, es una de las pocas estaciones que cuentan con registros históricos de datos climatológicos desde el año de 1900. Datos diarios de precipitación, temperatura máxima y mínima tomados desde 1900 a 1985 en dicha estación se utilizaron junto con el programa de cómputo SICA⁶ para generar los 10 diferentes parámetros agroclimáticos que se muestran en el Cuadro I. En la Figura 1 se puede apreciar la ubicación geográfica del estado de Nebraska dentro de EU, y la localización de las estaciones meteorológicas selectas en el estado.

Estos parámetros agroclimáticos seleccionados evalúan la duración e intensidad del período de crecimiento (PC), así como las respuestas fenológicas del maíz y trigo debido a variaciones en la temperatura durante los 86 años bajo estudio. La duración del PC se mide en días, mientras que

la intensidad se mide en términos de capacidad térmica; esto es, Unidades térmicas acumuladas o grados-día de desarrollo (GDD).

Los cultivos crecen, desarrollan y rinden lo óptimo bajo ciertos límites de temperatura. Valores mayores o menores a esos límites reducen su producción y pueden llegar incluso a ser letales. En las regiones templadas de las latitudes medias, la temperatura es el principal factor que limita las actividades agrícolas. En regiones templadas como Nebraska, el período libre de heladas (PLH) es un criterio comúnmente utilizado para determinar su potencial agrícola. El PLH es el número de días comprendido entre la fecha de la última helada de primavera y la primera helada de otoño. La expansión o contracción de dicho período en el tiempo es de primordial importancia en el éxito de las actividades agrícolas, y la magnitud de dicho cambio se asocia a cambios en la temperatura. La fecha de la última helada permite evaluar si el periodo de frío se ha venido adelantando o atrasando en el tiempo. El PC de un cultivo no siempre coincide con el PLH, pero las etapas más sensibles de ese cultivo siempre deben ocurrir dentro del PLH. En este trabajo se evalúa el PC del maíz, que normalmente ocurre de mayo a septiembre. Para este período se analiza la variación en la cantidad de precipitación ocurrida y la acumulación de temperaturas por encima de 10°C; esto es, la capacidad hídrica y térmica del PC para el maíz. Esto permite evaluar si hay evidencias de que la precipitación y la cantidad de energía ocurrida entre mayo y septiembre muestran tendencias a disminuir o a incrementarse.

Durante el período de crecimiento, la siembra, el crecimiento y el desarrollo de los cultivos guardan una muy estrecha relación con el patrón estacional de la temperatura. Así, las condiciones adecuadas para la siembra y el establecimiento del maíz y trigo de primavera se inician cuando la temperatura media por vez primera es igual o mayor a 12.8 y 4.4°C, respectivamente. Este criterio se utilizó para definir el inicio del periodo de crecimiento del maíz, y a partir de allí determinar la ocurrencia de las subsecuentes etapas fenológicas. Así se analizó la variación en la ocurrencia de las diferentes etapas de desarrollo del maíz, de manera tal que si existiese un cambio climático, esto se reflejaría en un adelanto o retraso en la ocurrencia de tales etapas. Asimismo, el trigo de invierno rompe su letargo en primavera cuando la temperatura rebasa el límite de los 4.4 °C. El determinar cuándo el trigo rompe el letargo y analizar su variación en el tiempo, permite evaluar a través de este parámetro si el clima se está enfriando o calentando.

⁶ Medina, G. G.; N. L. A. Aceves y A. G. de Bueno, "SICA: Un sistema de información para caracterizaciones agroclimáticas" en *AGROCIENCIA*, Serie: Matemáticas aplicadas, estadística y computación, núm. 3, vol. 1, pp. 225-248.

Cuadro 1
Nombre y símbolo de identificación de los
parámetros agroclimáticos selectos

Nombre del parámetro	Símbolo de identificación
Duración del Período Libre de Heladas	A
Fecha de la última helada	B
Grados-día acumulados (GDD) en el período de crecimiento del maíz (Capacidad térmica)	C
Precipitación acumulada durante el período de crecimiento del maíz (Capacidad hídrica)	D
Fecha de siembra más temprana para maíz	E
Fecha de espigamiento del maíz	F
Fecha de madurez fisiológica del maíz	G
Fecha de ruptura del letargo para trigo	H
Fecha de espigamiento del trigo	I
Fecha de madurez fisiológica del trigo	J

El crecimiento y desarrollo de los cultivos está más estrechamente relacionado con una cantidad de temperatura acumulada por encima de una temperatura umbral (unidades térmicas) que con respecto al tiempo cronológico. De esta manera son generados índices agroclimáticos como los grados-día de desarrollo (GDD), que asociados a etapas fenológicas de los cultivos, permiten generar modelos fenológicos que con base en datos de temperatura permiten pronosticar las etapas y fases fenológicas de un cultivo.

Datos de los requerimientos térmicos para cada etapa fenológica para diferentes híbridos y variedades de maíz y trigo, son reportados por Aceves-Navarro⁷. Los requerimientos del maíz, desde la siembra hasta la madurez fisiológica, varían de 1165° a 1720° GDD (base 10°C), y los de trigo de 1195° a 1415° GDD (base 4.4°C), respectivamente. Con estos modelos se simula la ocurrencia de las diferentes etapas fenológicas de estos cultivos, permitiendo determinar si las fechas de ocurrencia muestran tendencia en el tiempo de alargarse o acortarse. El ciclo se alarga o se acorta si las temperaturas disminuyen o aumentan durante las etapas.

⁷ Aceves-Navarro, L.A., "Agroclimatic Procedures Related to Crop Production in the North Central Region of the USA", Tesis de doctorado, Lincoln, NE: University of Nebraska, 1987.

Con base en los registros históricos y en los modelos fenológicos, se determinaron fechas de siembra, espigamiento y madurez del maíz y trigo para cada año, así como la capacidad térmica e hídrica disponible durante el período de crecimiento del cultivo del maíz. También se determinó la duración del período libre de heladas (PLH) y la fecha de ocurrencia de la última helada de primavera para cada una de las 13 estaciones meteorológicas selectas.

Resultados

La variación de los 10 parámetros agroclimáticos selectos respecto al tiempo, se representó gráficamente y se hicieron los análisis de regresión correspondiente. Del análisis visual de estas diez gráficas se pudo observar que aunque existe gran variabilidad en el curso de los años, no se aprecia tendencia alguna que indique un cambio climático. Por ejemplo, las Figuras 2 y 4 muestran la duración del período libre de heladas y la capacidad térmica (medida como acumulación de GDD) durante el período de crecimiento del maíz, que para la estación seleccionada se inició en mayo 1 y terminó el 30 de septiembre. En esas dos figuras se puede apreciar la ausencia de una clara y manifiesta tendencia que indique un cambio climático. En cambio, en algunas de ellas se encontró una oscilación tipo periódica con ciclos de 30 años.

Este mismo comportamiento se puede observar en las gráficas de los 8 parámetros restantes, mismos que se presentan en las Figuras 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10 y 11, respectivamente. La línea horizontal que se muestra en todas las figuras es el valor promedio de los 10 parámetros agroclimáticos durante el periodo de tiempo utilizado.

Se realizaron análisis de regresión para determinar estadísticamente el grado de asociación entre ambas variables (tiempo y parámetros) para los 10 parámetros agroclimáticos selectos y el porcentaje de explicación del error del modelo de regresión. Los resultados de dicho análisis para las 13 estaciones selectas, se muestran en el Cuadro 2.

Como puede apreciarse en el Cuadro 2, los coeficientes de determinación tuvieron una variación entre 0.000 a 0.053. Es decir, en ninguno de los 10 parámetros agroclimáticos selectos el coeficiente de determinación fue mayor al 5.3%, lo que puede señalarse como una ausencia de tendencia de dichos parámetros respecto al tiempo.

Cuadro 2
Coefficientes de determinación de los 10 parámetros agroclimáticos respecto al tiempo, para las estaciones meteorológicas selectas del estado de Nebraska, EU

Estación	P A R Á M E T R O									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
ALBION	0.020	0.000	0.001	0.015	0.014	0.025	0.010	0.006	0.001	0.000
ATKINSON	0.008	0.017	0.001	0.039	0.038	0.036	0.013	0.006	0.010	0.009
BRIDGEPORT	0.012	0.024	0.038	0.021	0.020	0.022	0.039	0.011	0.011	0.016
BROKEN BOW	0.007	0.029	0.001	0.018	0.017	0.011	0.006	0.017	0.008	0.010
DAVID CITY	0.038	0.035	0.000	0.000	0.000	0.004	0.042	0.007	0.008	0.025
FAIRBURY	0.027	0.052	0.006	0.009	0.008	0.009	0.002	0.016	0.040	0.037
FRANKLIN	0.009	0.019	0.017	0.049	0.049	0.003	0.000	0.008	0.002	0.012
GOTHEMBURG	0.025	0.020	0.000	0.043	0.049	0.013	0.001	0.007	0.004	0.009
HALSEY	0.008	0.019	0.000	0.024	0.024	0.045	0.002	0.001	0.009	0.019
HARRISON	0.003	0.010	0.001	0.020	0.020	0.017	0.000	0.003	0.004	0.003
MADRID	0.011	0.020	0.003	0.019	0.019	0.045	0.006	0.010	0.008	0.015
PAWNEE CITY	0.012	0.013	0.012	0.018	0.018	0.012	0.030	0.000	0.015	0.022
WEST POINT	0.000	0.002	0.004	0.014	0.013	0.010	0.009	0.053	0.017	0.001

En el caso particular de la estación de Albión, se pueden apreciar en el Cuadro 3 los resultados del coeficiente de determinación, coeficiente de variación y del error estándar de la estimación. Se muestra también que el coeficiente de determinación para los 10 parámetros estudiados tuvo una variación de 0.000 a 0.025. Es decir, en ninguno de los 10 parámetros agroclimáticos selectos el coeficiente de determinación fue mayor al 2.5%, lo que indica una ausencia de tendencia de dichos parámetros respecto al tiempo.

Cuadro 3
Coefficiente de determinación (r^2), coeficiente de variación (CV) y error estándar de la estimación (EEE) de los parámetros selectos respecto al tiempo de la estación de Albión, Nebraska, EU

Identificación del parámetro	r^2	CV (%)	EEE
A	0.020	15.94	106.0
B	0.000	11.80	9.5
C	0.001	34.60	12.0
D	0.015	4.35	25.4
E	0.014	10.63	9.5
F	0.025	7.54	3.9
G	0.010	15.50	6.6
H	0.006	15.37	25.2
I	0.001	7.00	4.6
J	0.000	7.54	3.8

Conclusiones

Aunque la extensión del registro utilizado es insignificante desde el punto de vista de la escala geológica de tiempo, es lo suficientemente larga para determinar si en ese período de 86 años han estado ocurriendo cambios en los elementos del clima.

A pesar de contar con clara evidencia del incremento progresivo de algunos gases que destruyen parcialmente la capa de ozono y refuerzan el efecto de invernadero, en el presente trabajo no hay una clara evidencia de la modificación del clima debido a dichos incrementos y la respuesta asociada de los cultivos a los supuestos cambios.

Los resultados obtenidos en un período de 86 años en un área no industrializada como es la localidad selecta del estado de Nebraska, EU, muestran que en los 10 parámetros agroclimáticos utilizados para evaluar la posibilidad de un cambio climático no se detectó tendencia alguna que permita asegurar si la tierra durante ese período se calentó o enfrió. Es decir, no se encontró una relación lineal definida entre los parámetros y el tiempo que permita rechazar la hipótesis de que el clima ha venido cambiando paulatinamente. En cambio, se pudo apreciar un comportamiento periódico a través del tiempo, con ciclos de 30 a más años en los parámetros estudiados. Estos ciclos muestran periodos de enfriamiento y calentamiento alternados, lo que puede inducir errores en el investigador si se analizan registros climatológicos con periodos cortos.

Debe enfatizarse entonces que se requiere estudiar más detalladamente la química de la relación biósfera-atmósfera-hidrosfera para evitar predicciones futuras alarmantes, basadas en modelos que simplemente extrapolan la tendencia actual observada de algunos fenómenos.

Figura 1
Ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas selectas del estado de Nebraska, EU

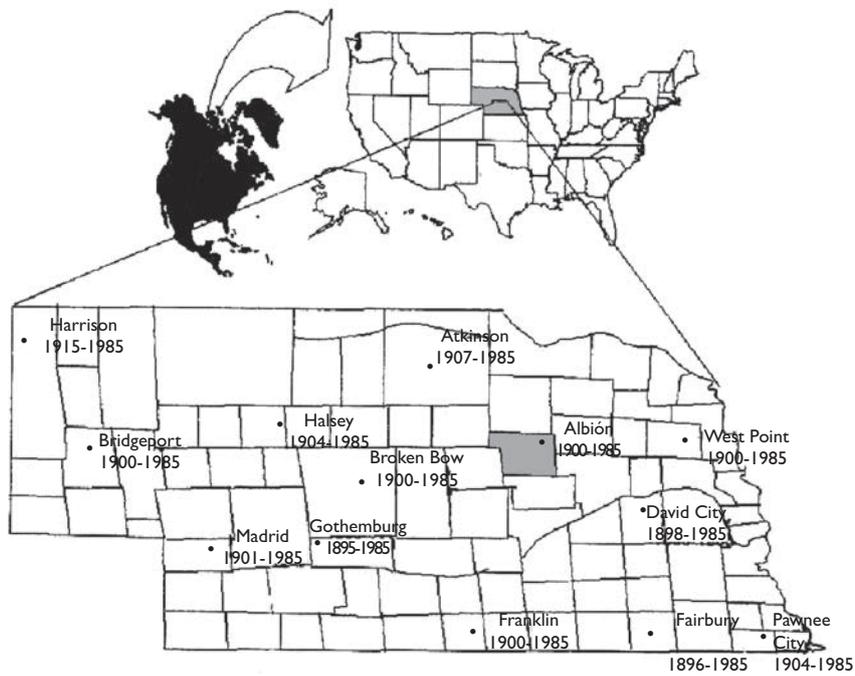


Figura 2
Duración del período libre de heladas en Albión, Nebraska, EU (Parámetro A)

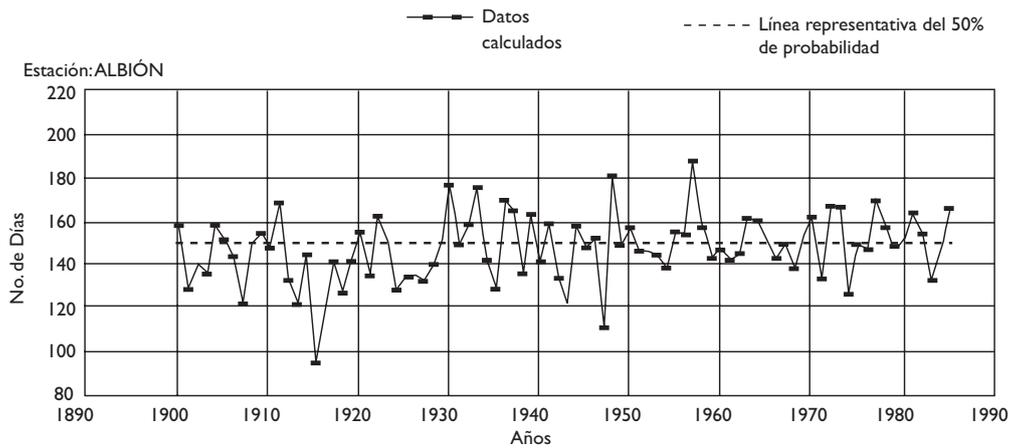


Figura 3
Fecha de la última helada en Albi3n, Nebraska, EU (Par3metro B)

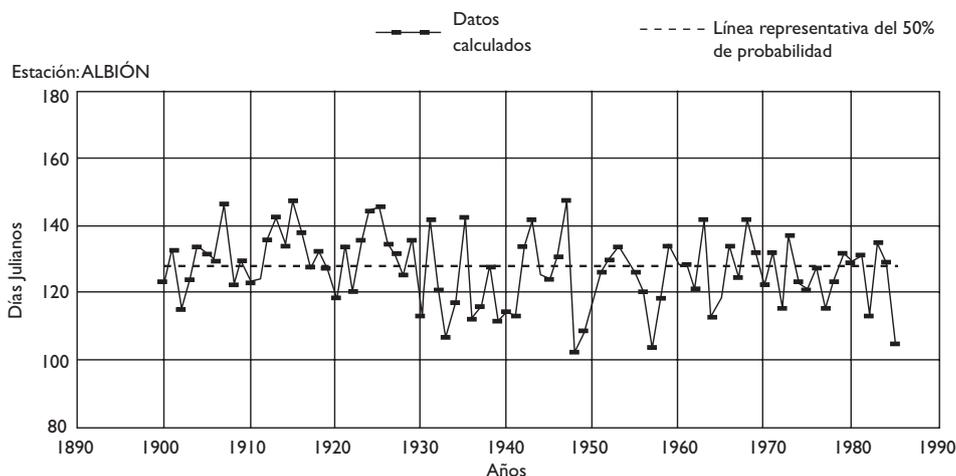


Figura 4
Grados-d3a de desarrollo (GDD) acumulados en el periodo de crecimiento del ma3 en Albi3n, Nebraska, EU (Par3metro C)

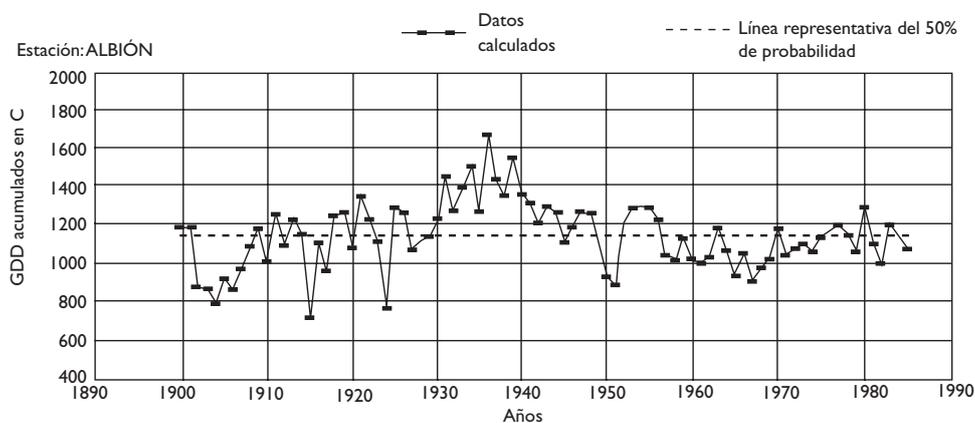


Figura 5
Precipitaci3n acumulada durante el periodo de crecimiento del ma3 (capacidad h3drica) en Albi3n, Nebraska, EU (Par3metro D)

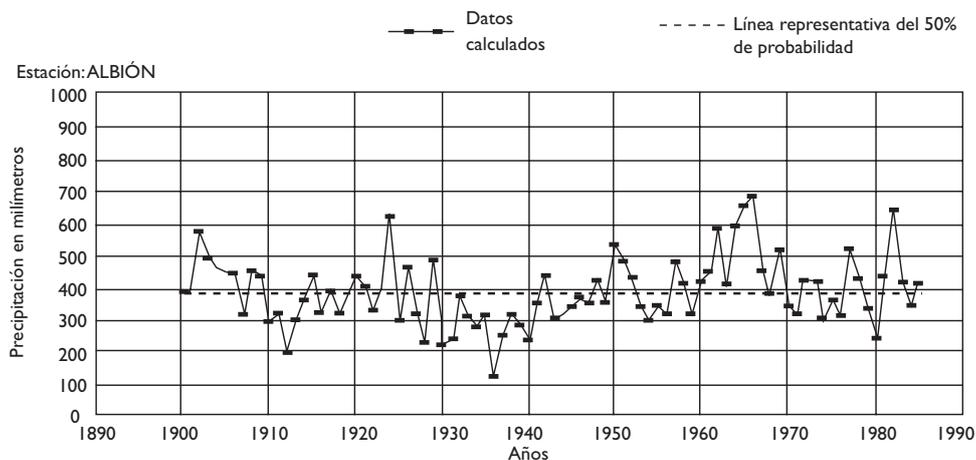


Figura 6
Fecha de siembra más temprana del maíz en Albión, Nebraska, EU (Parámetro E)

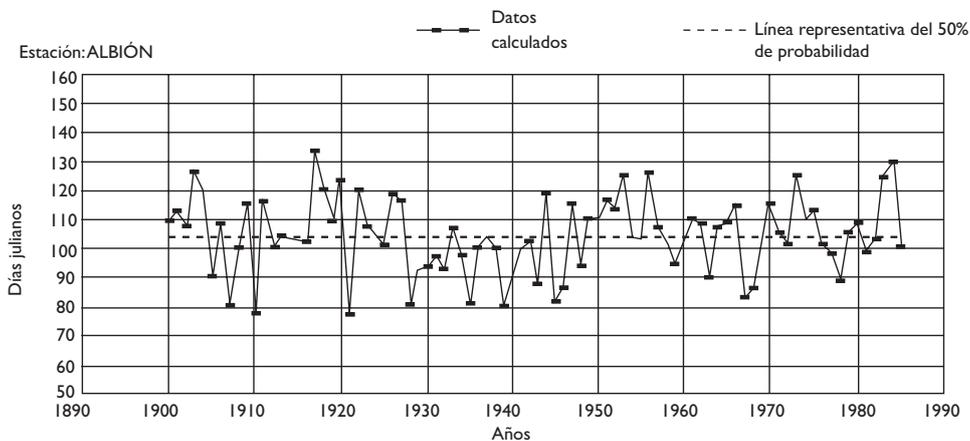


Figura 7
Fecha de espigamiento del maíz en Albión, Nebraska, EU (Parámetro F)

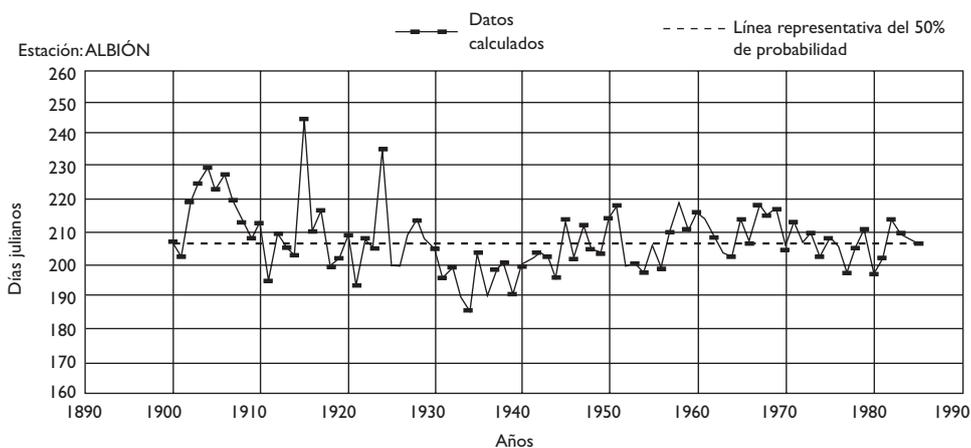


Figura 8
Fecha de madurez fisiológica del maíz, en Albión, Nebraska, EU (Parámetro G)

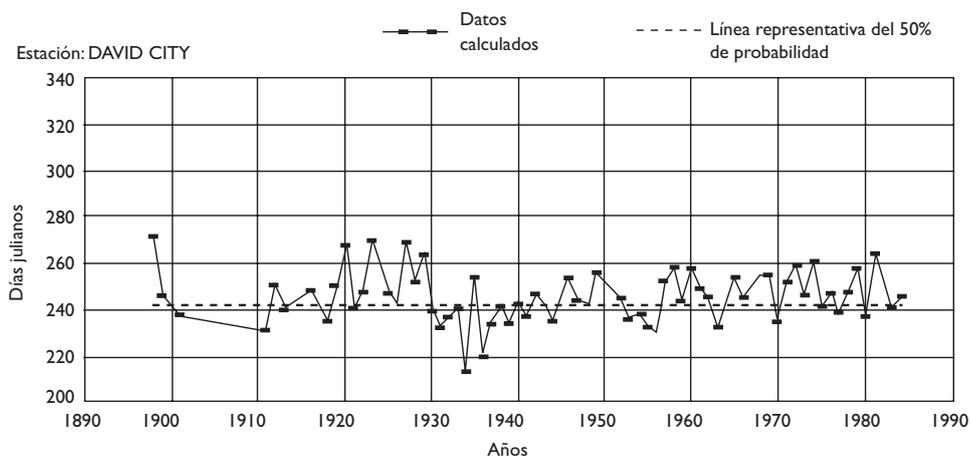


Figura 9
Fecha de ruptura del letargo para trigo en Albi3n, Nebraska, EU (Par3metro H)

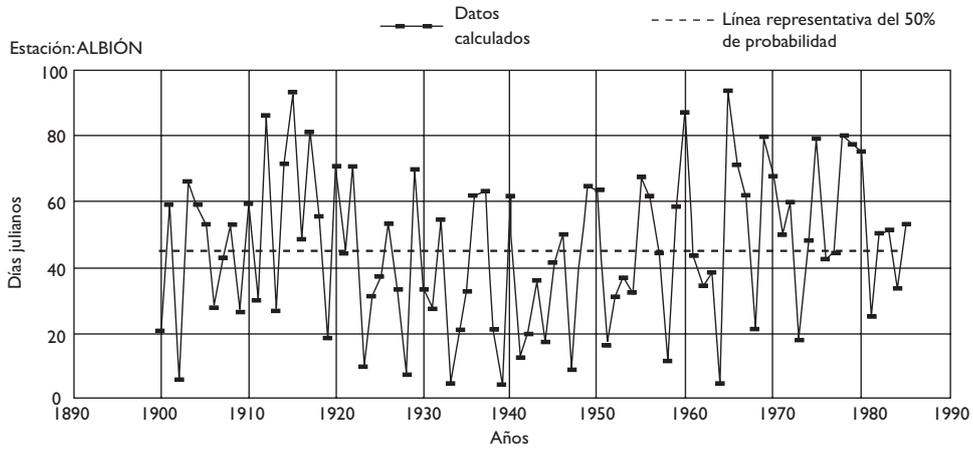


Figura 10
Fecha de espigamiento del trigo en Albi3n, Nebraska, EU (Par3metro I)

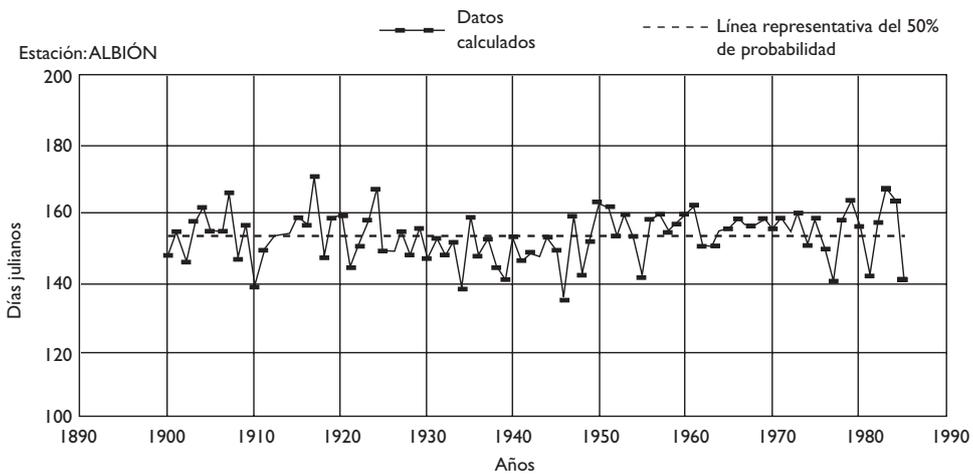
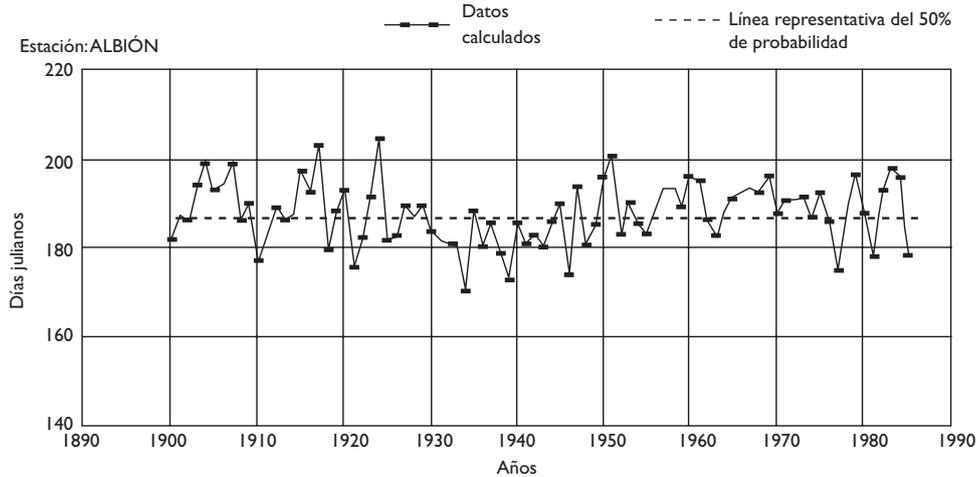
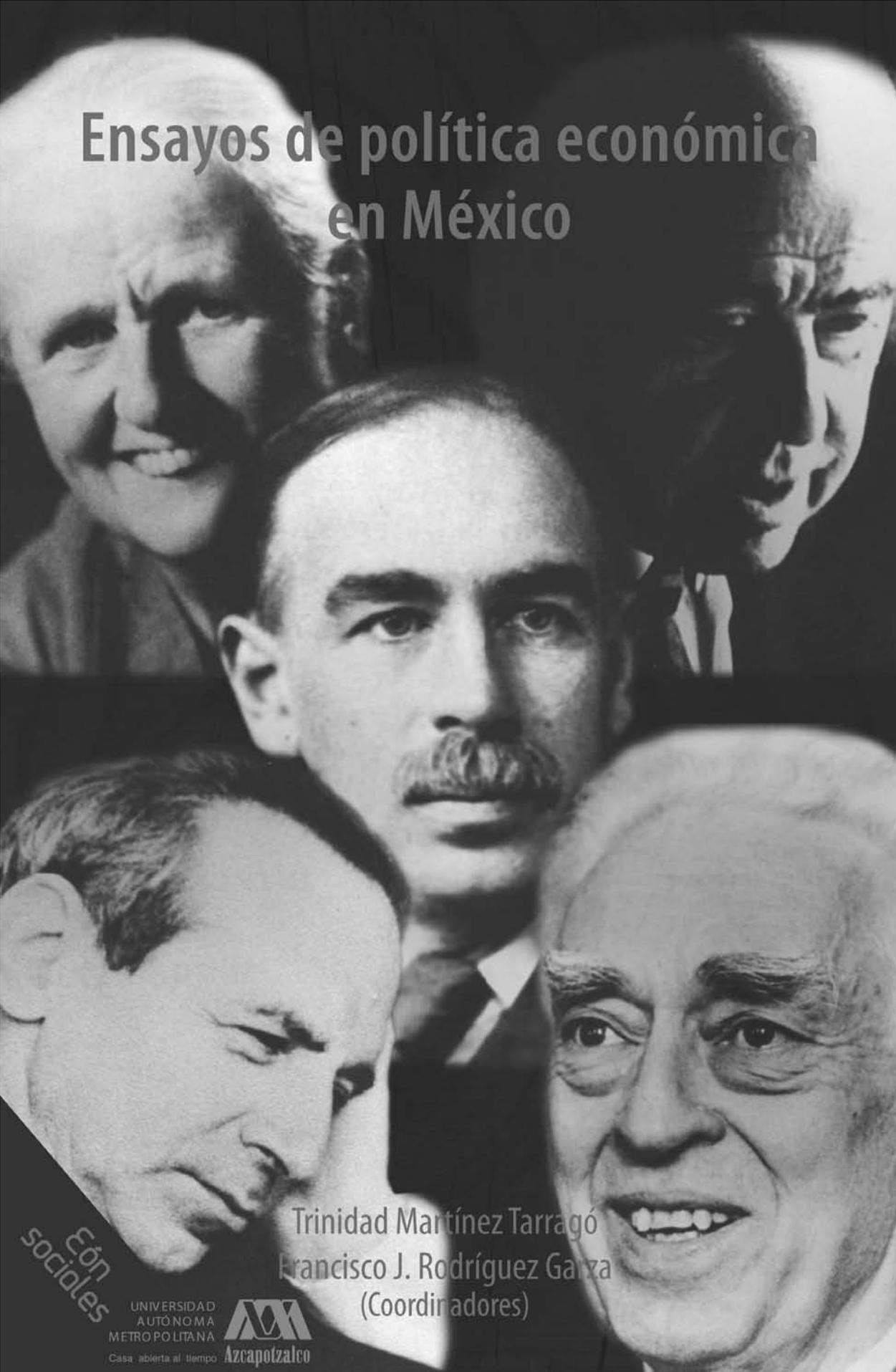


Figura 11
Fecha de madurez fisiol3gica del trigo en Albi3n, Nebraska, EU (Par3metro J)





Ensayos de política económica en México

Trinidad Martínez Tarragó
Francisco J. Rodríguez Garza
(Coordinadores)

Edición
sociales

UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA
METROPOLITANA
Azcapotzalco