

Tipos agroclimáticos para el cultivo de la soja en la Argentina ¹

A. J. PASCALE ²

(Recibido : 19 de setiembre de 1970)

RESUMEN

El trabajo compara las condiciones agroclimáticas del cultivo de la soja en el mundo con las condiciones climáticas de la Argentina, tratando de encontrar una respuesta a la falta de desarrollo de su cultivo en el país. Se analiza la metodología a seguir para determinar los tipos agroclimáticos de un cultivo aplicando tales principios al de la soja. Se consideraron : a) tipo bioclimático de la especie ; b) clima de la región de origen de la especie ; c) agroclima de las regiones de cultivo de la especie ; d) agroclima de las regiones donde la experimentación ha demostrado la imposibilidad del cultivo de la especie ; y e) los índices agroclimáticos derivados de trabajos experimentales sobre requerimientos agroclimáticos de la especie. Del estudio se concluye que los requerimientos bioclimáticos que deben satisfacerse para que el cultivo pueda desarrollar y prosperar son : 1) exigencias fotoperiódicas ; 2) exigencias térmicas ; y 3) exigencias hídricas. Para el cultivo en secano de la soja se determinó que el límite es la isolínea de 100 milímetros de deficiencia de agua en el balance hidrológico durante el período vegetativo de la especie. Este período se consideró entre temperaturas medias del aire superiores a 15°C. Quedó delimitada así una región geográfica dentro de la cual la difusión del cultivo se hará según las disponibilidades térmicas zonales. Para zonificar térmicamente una región en su aptitud para la soja pueden utilizarse varios sistemas, de los cuales la suma de temperaturas y las « Unidades de Desarrollo de la Soja » de Brown, se consideraron los más importantes. El requerimiento térmico debe completarse con el fotoperiódico, determinándose así el tipo de precocidad varietal a sembrar. Aplicando los elementos bio y agroclimáticos estudiados en relación con las disponibilidades climáticas de la Argentina, se delimitan regiones de posible cultivo de la soja que corresponden a tipos agroclimáticos mundiales. Se considera por ello que, desde los puntos de vista bio y agroclimático, no existen razones para que el cultivo de la soja no prospere en el país.

SUMMARY

To answer for the insufficient expansion of soybean in Argentina this paper compares world agroclimatic conditions with those in that country. The methodology used to determine agroclimatic types for a crop as applied to soybean was analyzed and the following principles were considered : a) bioclimatic type of the species ; b) climate of the region of origin ; c) agroclimate of the crop areas ; d) agroclimate of the regions where experiments indicated impossibility of culture and e) agroclimatic indices from experimental work about agroclimatic requirements. It is concluded that the bioclimatic requirements of soybean are photoperiodic, thermal and hydrological. For dry farming culture, the limit is the 100 millimeter isoline of water deficiency

¹ Trabajo presentado en el 5º Congreso Internacional de Biometeorología llevado a cabo en Montreux (Suiza) entre el 31-VIII y 6-IX de 1969.

² Profesor titular de la Cátedra de Climatología y Fenología Agrícolas del Departamento de Biología y Ecología de la Facultad de Agronomía y Veterinaria.

in the water balance during the vegetative period, this being considered between mean air temperatures above 15°C. An area is thus limited within which the expansion of the crop follows the thermal availability of the area. The more important systems to thermally zonify an area for soybean are the summation of temperatures and the Brown's «Soybean Development Units». The thermal requirements must be complemented with the photoperiodic needs, both of them indicating the type of varietal precocity to be seeded. The bioclimatic and agroclimatic data studied and related to the climatic disponibilities of Argentina delineate areas of possible soybean culture corresponding to world agroclimatic types. From both, the bioclimatic and agroclimatic points of view, there are no reasons against its future expansion in Argentina.

INTRODUCCION

La producción de soja en la Argentina es muy reducida habiendo fluctuado la superficie sembrada anualmente entre 10.000 y 20.000 ha, que es muy pequeña frente al área de otros cultivos extensivos. Si bien se sembró desde principios de siglo, nunca tuvo un incremento tal que determinara su incorporación al conjunto de cultivos importantes del país. Esto resulta extraño al compararlo con el aumento anual del área sembrada en otros países americanos, por ejemplo EE. UU. y Brasil, y porque la soja hubiera representado un logro muy importante de materia prima y/o de divisas.

Las causas de este reducido interés no son fáciles de establecer, aunque "a priori" podrían atribuirse a la falta de suficientes estudios experimentales. La idea de que las condiciones ecológicas son inadecuadas para la soja debe desecharse, pues la Argentina es productora de maíz y ambos cultivos de exigencias bioclimáticas similares, son intercambiables en la rotación. La falta de interés por supuestas razones económicas tampoco es aceptable pues, tanto para utilización interna como para exportación, hubiera representado una importante fuente de ingresos.

Desde 1964 las Cátedras de Climatología y Fenología Agrícolas y de Cultivos Industriales de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de Buenos Aires, realizan investigaciones para evaluar las posibilidades del cultivo de la soja en la Argentina³.

El estudio consiste fundamentalmente en ensayos comparativos de rendimiento con más de 40 cultivares de soja, a través de distintas épocas de siembra en estaciones experimentales distribuidas en la amplia región agrícola del país.

³ La financiación de estos estudios es realizada conjuntamente por la Facultad y la Comisión Administradora del Fondo para la Promoción de la Tecnología Agropecuaria (CAFPTA).

La información fenológica y fenométrica obtenida en cinco campañas agrícolas permite adelantar posibilidades favorables para el cultivo de soja en la Argentina.

El presente estudio tiene por finalidad complementar los datos experimentales recogidos, realizando una comparación de los tipos agroclimáticos de regiones sojeras existentes en el mundo con las disponibilidades climáticas argentinas, con el objeto de establecer diferencias o semejanzas que puedan explicar las causas de la falta de difusión del cultivo en el país, o por el contrario, refuerzan las conclusiones favorables deducidas de los ensayos experimentales.

MATERIALES Y METODO

En este trabajo se relacionaron las exigencias bioclimáticas de la especie con la satisfacción de las mismas en los distintos climas de las regiones del mundo donde se cultiva soja. Los tipos agrometeorológicos resultantes se calcularon para la Argentina utilizando los elementos meteorológicos que determinan los climas regionales. De allí que el material usado corresponda a estadísticas climáticas mundiales (GREAT BRITAIN, 1958; U.S.A., 1959) y de la ARGENTINA, 1958, 1963 y 1969), que se computaron para los regímenes térmicos e hidrológicos, según la forma en que se consideró la influencia de los distintos elementos meteorológicos en el crecimiento o en el desarrollo de la soja. Se calcularon así: las sumas de temperaturas sobre el nivel de 15°C, las "unidades para el desarrollo de la soja", los balances hidrológicos durante el período vegetativo de la soja y el fotoperíodo del mes más caliente del año. Para el cálculo de evapotranspiración potencial y el balance hidrológico (capacidad máxima de retención de 300 mm) se siguieron las instrucciones de Thornthwaite (THORNTHWAITHE and MATHER, 1957).

Se contó, asimismo, con información estadística del cultivo de la especie en el mundo proveniente de distintas fuentes, especialmente de la del Soybean Digest (AMERICAN SOYBEAN ASSOCIATION 1964/1969).

La metodología se ajustó a las normas de BURGOS (1958) para la determinación de los tipos agroclimáticos de cultivos y que fueron utilizadas con éxito para papa simiente, datilero, cacaotero y trigo (BURGOS, 1960; BURGOS, REYES y AQUINO, 1965; PASCALE and DAMARIO, 1962). La serie ordenada de reglas del método usado es la siguiente:

- a) determinación del tipo bioclimático de la especie;
- b) valoración del clima de la región de origen de la especie;
- c) valoración del agroclima de las regiones de cultivo de la especie;
- d) valoración del agroclima de las regiones donde la experimentación ha demostrado la imposibilidad del cultivo de la especie;
- e) consideración de los índices agroclimáticos derivados de trabajos experimentales sobre requerimientos agroclimáticos de la especie.

RESULTADOS

La soja es una especie atermocíclica y afotocíclica, es decir, tiene tejidos activos a la temperatura y a la luz solamente en la termofase y en la fotofase positivas de las variaciones anuales de la temperatura y de la duración del día. Por lo tanto, cualquier análisis climático deberá hacerse con los elementos meteorológicos durante ese lapso, ya que en las fases negativas no tienen influencia sobre el cultivo.

Al estudiar el clima de los lugares de origen más probable de la especie, centro y norte de China, pudo comprobarse que las temperaturas y fotoperíodos de esa amplia región, si bien muy diferentes, podían encontrarse en determinadas zonas de la Argentina, pero sin definir con ello ninguna característica específica para el cultivo de la soja.

El análisis de las condiciones climáticas de las regiones donde se cultiva soja en el mundo, dio las bases para determinar los parámetros agroclimáticos que debían utilizarse.

El cuadro 1 permite observar la posición relativa de los principales países productores de soja del mundo. Se comprueba que EE. UU. con más de 16.000.000 de hectáreas cultivadas, representa aproximadamente el 73 % de la producción mundial

CUADRO 1. — Principales países productores de soja, año 1967 (AMERICAN SOYBEAN ASSOCIATION, 1969)

Países	Superficie cultivada ha	Rendimiento kg/ha	Producción	
			Toneladas	% del total mundial
EE. UU. N. A.....	16.094.000	1.648	26.564.000	72,9
China Continental.....	8.181.000	847	6.940.000	19,0
Brasil.....	530.000	1.284	679.000	1,9
U. R. S. S.....	855.000	646	550.000	1,5
Indonesia.....	661.000	733	484.000	1,3
Canadá.....	117.000	1.876	220.000	0,6
Corea del Sur.....	310.000	646	201.000	0,6
Japón.....	141.000	1.345	190.000	0,5
Méjico.....	60.000	2.018	121.000	0,3
Colombia.....	48.000	1.668	80.000	0,2
Argentina.....	17.000	1.184	20.000	0,05
Otros países.....				1,15
Total mundial estimado.....	27.646.000	1.318	36.456.000	100
Sudamérica.....	614.000	1.278	797.000	2,2

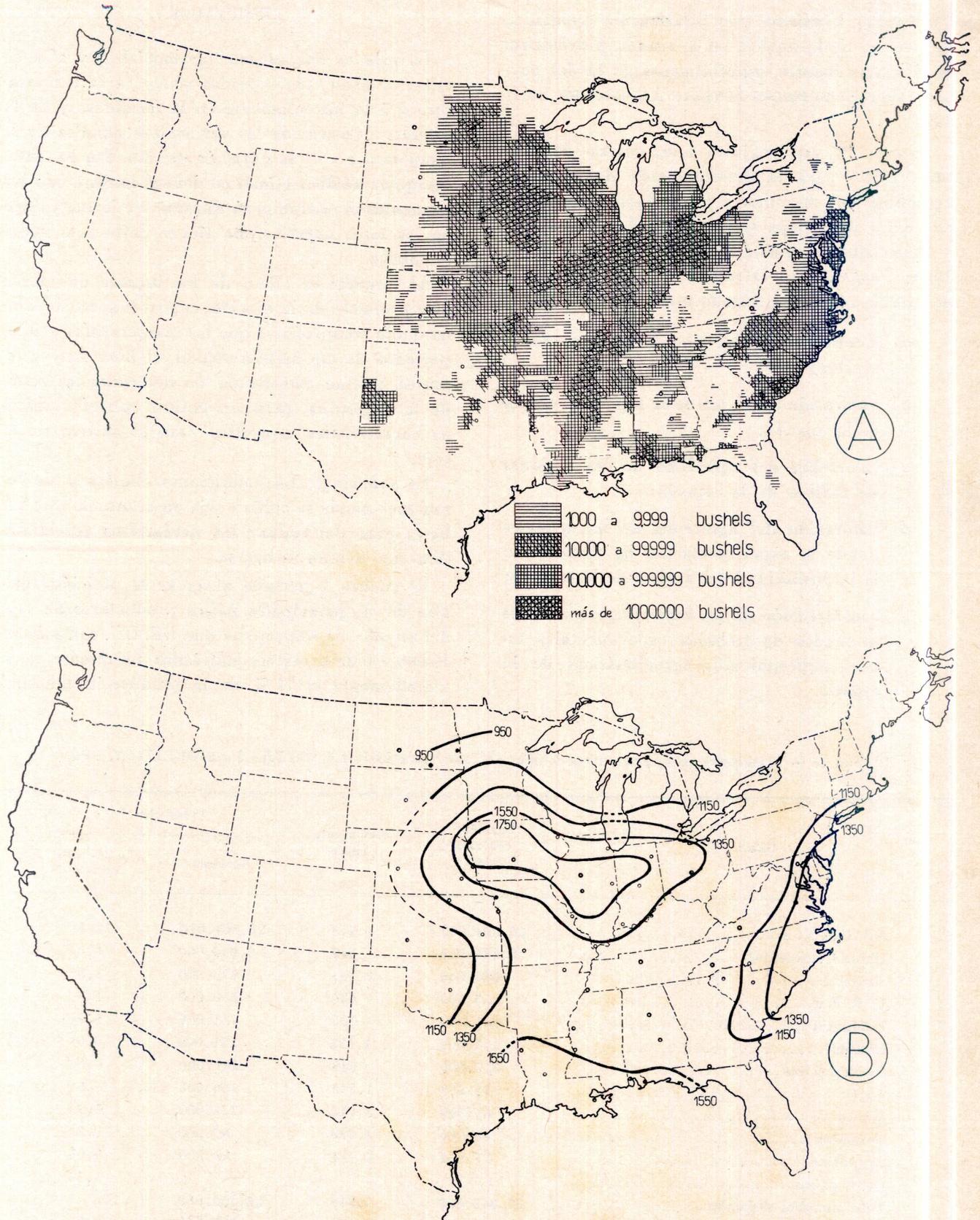


Fig. 1. — Región de cultivo en secano de la soja en EEUU, (A) Producción en 1961 por condados. (B) Rendimientos regionales en kg/ha, promedio 1959/63

y que junto con China continental dejan al resto del mundo sólo poco más del 8 % del total. Evidentemente, si en ambas regiones del mundo puede cosecharse tanta soja, debe concluirse que sus condiciones ecológicas son adecuadas y que un análisis de las mismas determinaría combinaciones climáticas que podrían o no encontrarse en la Argentina.

La información fenológica de Manchuria para relacionarla con la climática fue exigua, de allí que el análisis se limitó a la región sojera norteamericana de secano. Además, la diferencia de rendimiento medio por hectárea entre ambos países parecería indicar que la planta de soja se identificó con el clima de la región de cultivo de los EE. UU., pudiendo haberle sucedido lo mismo que a otras especies que, alejadas de su lugar de origen, se adaptaron plenamente a los nuevos lugares de implantación.

La figura 1 (A) muestra la densidad del cultivo en secano de soja en los EE. UU. comprobándose que todo el este norteamericano, limitado por una línea de N a S que pasa por ambas Dakotas, Nebraska, Kansas y Oklahoma, dejando a Texas a occidente, dispone de abundante producción. Los rendimientos regionales pueden apreciarse observando la figura 1 (B).

La tarea fue entonces relevar esa amplia región estudiando la intensidad, frecuencia y niveles de aquellos parámetros agrometeorológicos que tienen influencia en el cultivo de la soja.

Eso pudo completarse con el estudio climático de regiones mencionadas como inadecuadas para el cultivo y con el análisis de las condiciones meteorológicas que determinaron fracasos en algunos lugares de nuestros ensayos regionales.

Fue necesario entonces analizar los experimentos realizados para conocer las exigencias bioclimáticas en los tres requerimientos más importantes de cultivo, es decir, los térmicos, los hídricos y los fotoperiódicos.

1. Requerimientos térmicos

Para el estudio térmico se utilizaron trabajos norteamericanos sobre ecología de la soja (VAN SCHAİK and PROBST, 1958; BROWN, 1960) de los cuales puede deducirse que:

- a) a medida que las temperaturas diurnas y nocturnas aumentan, se requieren menos días para que la planta de soja alcance la etapa de floración;
- b) cuanto mayor es el fotoperíodo se necesitan más días para que la soja llegue a florecer;
- c) a iguales temperaturas medias diarias, el nictoperíodo para que la soja florezca es aproximadamente el mismo.

Puede inferirse entonces que la inversa del número de horas nocturnas es un índice de crecimiento de la soja hasta la floración, en función de las temperaturas crecientes y el fotoperíodo involucrado. Este índice, que BROWN (1960) denominó "unidades de desarrollo de la soja", (S.D.U.), se presenta en la figura 2. Se comprueba que extrapolando se llega a un desarrollo nulo a los 10° C, y que las temperaturas superiores a 30° C tienen un efecto deprimente sobre el crecimiento de la soja para alcanzar la floración.

BROWN y CHAPMAN (1960) comprobaron que la curva parabólica de la figura 2, derivada de estudios experimentales en cámaras climáticas, puede aplicarse en ensayos a campo como índice de la velocidad de crecimiento hasta el momento de plena fructificación y, ligeramente modificada, desde allí hasta la maduración. En definitiva, pueden aceptarse las S.D.U. de Brown como una jerarquización de las temperaturas medias diarias durante el ciclo vegetativo, y su acumulación durante ese lapso, utilizables, tanto para estudiar las exigencias bioclimáticas de cada cultivar como para comprobar la adaptación de los mismos al régimen térmico de un lugar.

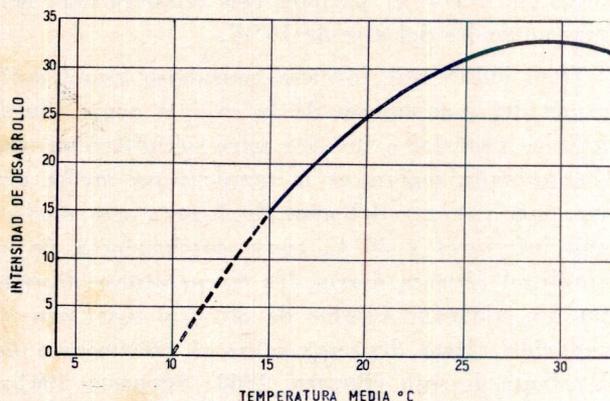


Fig. 2. — Relación promedio entre la temperatura y la velocidad de desarrollo de la soja

Según BROWN y CHAPMAN (1961) el período vegetativo de la soja puede considerarse que comienza cuando la temperatura del aire supera 15°C , por ser ésta la temperatura aproximada de siembra en la región de los Grandes Lagos. En los ensayos de siembras continuadas efectuadas en el campo experimental de la Facultad (lat. $34^{\circ} 35' \text{S}$; long. $58^{\circ} 29' \text{W}$; alt. 25 m) nunca se produjeron nacimientos en las parcelas antes que el aire alcanzara este nivel térmico (PASCALE, REMUSSI y MARZO, 1963). La finalización del período vegetativo de la soja se admite que ocurre con esa temperatura media y que en otoño, según las regiones, coincide aproximadamente con la ocurrencia de heladas tempranas con una probabilidad del 20 al 25 %.

Sobre la base de estas consideraciones, resulta aceptable sumar la S.D.U. entre temperaturas del aire superior a 15°C para indicar la necesidad bioclimática varietal o la aptitud agroclimática térmica regional para el cultivo de la soja.

Se intentó verificar si con un valor puramente climático, independiente de la necesidad bioclimática del cultivo, se podía establecer un índice para comparaciones agroclimáticas de similar confiabilidad a las S.D.U. Se utilizó entonces la suma de temperaturas superiores a los 15°C , método residual (temperaturas efectivas). La figura 3 muestra la relación existentes entre ambos índices, comprobándose una estrecha correlación ($r = 0,942$ y $r = 0,985$), pero que utilizada para localidades sudamericanas la inclinación de la línea es ligeramente diferente a cuando se la aplica al régimen térmico de localidades del Hemisferio Norte. Posiblemente esto se deba a la diferente tensión térmica diaria con que se inicia y finaliza en ambos hemisferios el período con temperaturas medias normales del aire de 15°C .

Otro índice que interesa considerar como indicador del crecimiento de la soja, o como límite térmico superior o inferior para su cultivo en una determinada región, es la temperatura media del mes más caliente del año. En lugares con medias aún inferiores a 30°C , como consecuencia de la amplitud térmica diaria, las temperaturas diurnas pueden alcanzar valores de 35°C o más, con el conocido efecto depresor sobre el crecimiento de la planta de soja (BROWN, 1960; SPOONER, 1961). Por el contrario, una temperatura media del mes más caliente de $18-19^{\circ}\text{C}$ parecería limitar el cre-

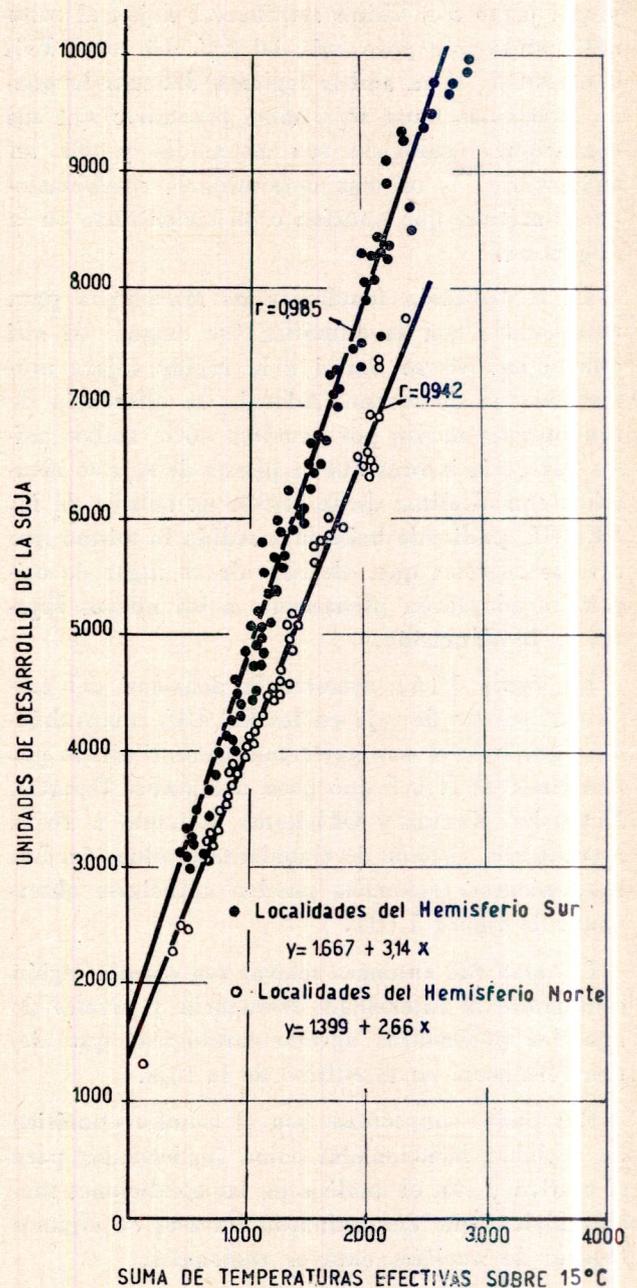


Fig. 3. — Correlación entre « Unidades de Desarrollo de la Soja » y suma de temperaturas sobre 15°C (método residual).

cimiento de la soja al mínimo compatible con un cultivo económico, ya que localidades con temperaturas similares y aproximadamente 3000°C de sumas térmicas (similar a 2.000 S.D.U.) se encuentran en el área productiva septentrional del cultivo en el hemisferio Norte. Las mejores zonas productoras de soja en el mundo tienen tem-

CUADRO 2. — Regiones térmicas. Suma de temperaturas durante el período vegetativo de la soja

Zonas	Índice climático	Unidades de desarrollo (Brown 1960) °C	Tipo de Agroclima
	Suma de temperaturas sobre 15°C (método residual) °C		
A	menor de 600	menos de 3000	muy frío
B	600-1200	3000-4500	templado frío
C	1200-1800	4500-6000	templado
D	1800-2400	6000-7500	templado cálido
E	mayor de 2400	más de 7500	cálido

peraturas medias del mes más caliente entre 23 y 25° C.

Analizados los índices térmicos que pueden aplicarse al cultivo de la soja, se adoptó la temperatura sobre 15° C, método residual, por tener una estrecha correlación con las unidades de desarrollo de la soja de Brown, cuyo ordenamiento en regiones térmicas se observa en el cuadro 2.

De los tipos agroclimáticos, el muy frío A señala las máximas limitaciones para el cultivo por insatisfacción de la exigencia térmica mínima; en los tipos cálidos E aunque el crecimiento podría reducirse por temperaturas elevadas, pueden obtenerse rendimientos de aceptables a muy buenos siempre que dispongan de agua en cantidad adecuada. En las zonas B, C y D deberán encontrarse los agroclimas térmicamente más adecuados.

La figura 4 (A y B) muestra las regiones térmicas del área sojera de secano, en EE. UU., según la disponibilidad de S.D.U. y suma de temperaturas efectivas, respectivamente.

2. Requerimientos hídricos

Para analizar el efecto hídrico sobre el cultivo de la soja se debió optar entre: a) tomar en cuenta las precipitaciones durante el ciclo vegetativo, o b) efectuar el balance hidrológico para conocer la humedad del suelo durante ese lapso, con los milímetros mensuales de deficiencia o exceso. Se optó por b) ya que permitió calcular la evapotranspiración potencial mensual y la reserva de agua en el suelo al llegar la temperatura a 15° C.

Esto es importante dado que la siembra debe efectuarse con buena humedad, pues el nacimiento de la soja es un período crítico para agua. Según POLETIKA (1952), durante el período vegetativo la soja requiere 300 milímetros de precipitaciones, pero para darle un valor real a las mismas, estudia las regiones sojeras del mundo por medio del índice hidrotérmico de Selyaninov, aunque entre temperaturas del aire superiores a 10° C, por lo cual los valores que obtuvo no son comparables con los del presente estudio.

El balance hidrológico mensual permite conocer las deficiencias totales de agua durante el período entre temperaturas de 15° C en que crece el cultivo. Quizá podría haberse calculado solamente las deficiencias en agua durante el subperíodo floración-fructificación, que es la otra etapa crítica de la soja para este factor, pero por falta de información fenológica completa se hubiera fracasado en el cálculo.

Los balances hidrológicos correspondientes a localidades de EE. UU., permitieron comprobar que la isolínea de 100 mm de deficiencia de agua en el período vegetativo coincide muy aceptablemente con el límite occidental del área sojera de secano (fig. 5, A). Se adoptó entonces, tal valor, para separar las zonas que pueden sembrarse en secano de las que necesariamente requieren irrigación.

Asimismo, puede considerarse que a menores deficiencias, deberán corresponder mejores rendimientos por mayor disponibilidad de agua (evapo-

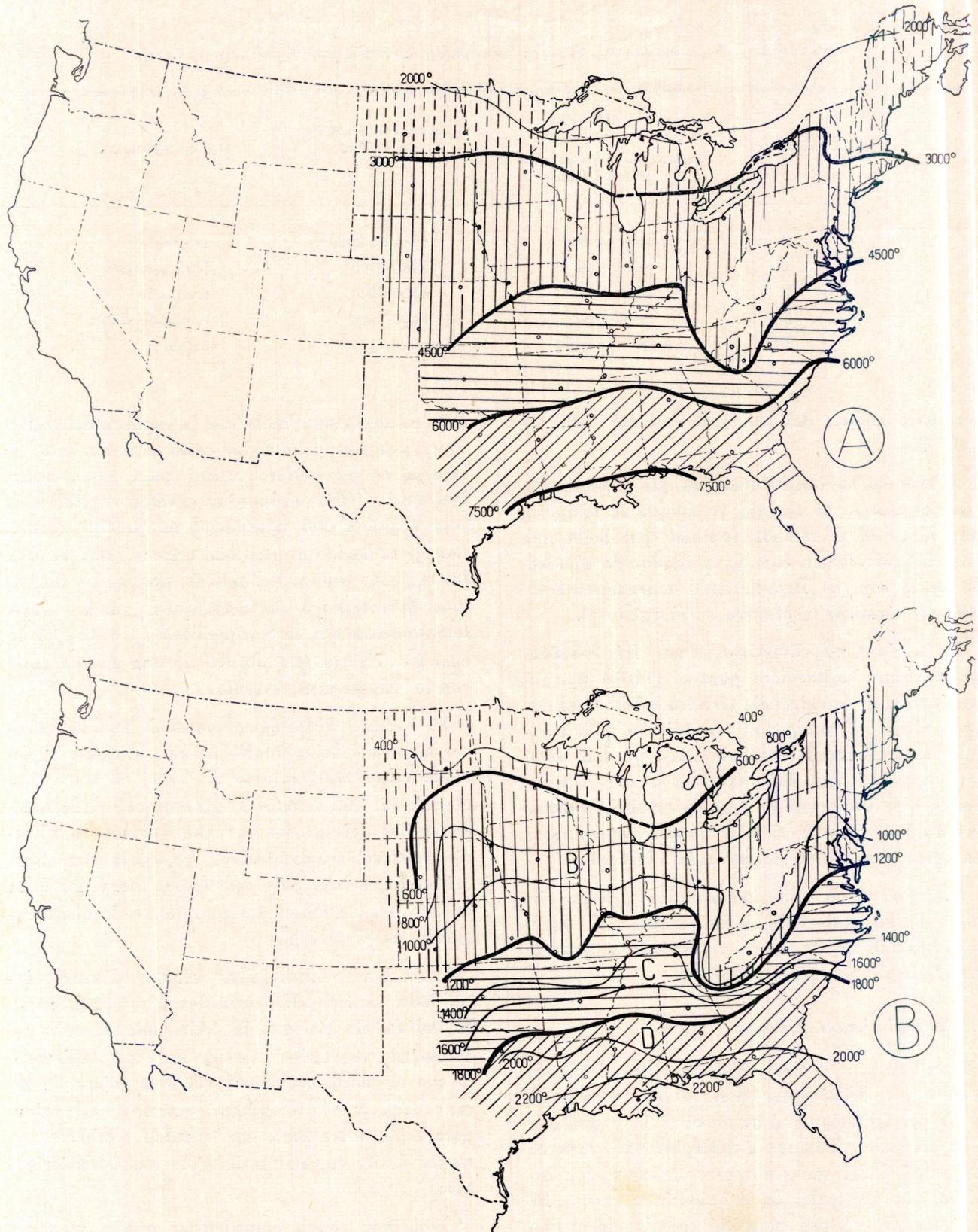


Fig. 4. — Regiones térmicas para el cultivo de la soja en EEUU, teniendo en cuenta (A) « Unidades de Desarrollo de la Soja », y (B) suma de temperaturas sobre 15°C (método residual)

transpiración real: ER) para satisfacer la necesidad indicada por la evapotranspiración potencial (EP), es decir, $\frac{E R}{E P} \times 100$ se acerca al valor 100 a medida que la deficiencia se reduce. Tal relación se cumple en EE. UU., ya que la región de mayores rendimientos (fig. 1, B) tiene en valores medios menos de 33 mm de deficiencia durante el período vegetativo entre temperaturas de 15° C.

Los excesos de agua indicados por el balance para el período vegetativo podrán modificar el rendimiento final en forma variable. Cuando ocurren acompañados de valores altos de evapotranspiración potencial y de buen drenaje para evitar estancamientos de agua, seguramente se obtendrán altos rendimientos, como sucede en la región sojera de Brasil (Estados de Río Grande do Sul y Paraná). En condiciones opuestas, que no eliminan el exceso de agua y consiguiente falta de ventilación del suelo, los rendimientos disminuirán (SPOONER, 1961). En el año 1968 los ensayos en la provincia de Tucumán mostraron ese efecto negativo del exceso de agua.

Un exceso de humedad antes de la cosecha puede ser también perjudicial, especialmente cuando las temperaturas son superiores a 15° C, pues las plantas continúan vegetando, no se produce la defoliación, la semilla no termina de madurar y se favorecen las enfermedades.

En el cuadro 3 se han indicado las jerarquías de humedad que definen las diferentes zonas agroclimáticas para el cultivo de la soja.

CUADRO 3. — Regiones hídricas. Humedad durante el período vegetativo de la soja

Zonas	Indice climático	
	Deficiencia de agua en el balance hidrológico durante el período del año con temperaturas del aire sobre 15°C	Tipo de Agroclima
A'	más de 100	muy seco
B'	99 a 66	seco
C'	65 a 33	sub-húmedo seco
D'	32 a 0	sub-húmedo húmedo
E'	con exceso de agua	húmedo

Los agroclimas A' deberán disponer necesariamente de agua para riego a fin de satisfacer las exigencias de la soja, en tanto que los E' según lo mencionado, serán agroclimas de distinta aptitud de acuerdo con el complejo ecológico presente. En los agroclimas sub-húmedo húmedos D' se encuentran las zonas de mejores rendimientos en el área sojera no irrigada de los EE. UU. La cantidad creciente de deficiencia en los C' y B' determinan regiones necesitadas de riego suplementario para obtener rendimientos económicos.

3. Requerimientos fotoperiódicos

Aunque la característica de la especie es ser planta de "día corto", la gran cantidad de cultivares existentes reaccionan al fotoperíodo de una manera tan diversa, que pueden encontrarse desde los indiferentes a la duración del día hasta los que no llegan a florecer si no disponen de un nivel fotoperiódico mínimo.

Un fotoperíodo mayor de 16 horas inhibe la floración y fructificación de las sojas actualmente en cultivo, pero cuando la duración del día durante el mes del solsticio de verano es ligeramente inferior a ese valor límite, hay cultivares que completar su desarrollo, por lo cual debe considerárselos como indiferentes al fotoperíodo (NORMAN, 1963). Estas sojas se siembran en el límite septentrional de cultivo en el Hemisferio Norte (Canadá, norte de EE. UU., Rusia) y poseen, además, un requerimiento calórico muy bajo que les permite completar su ciclo en los agroclimas térmicos A.

A medida que las variedades requieren días más cortos para florecer, tanto más tardías se hacen en las regiones donde el fotoperíodo en el mes más cálido es mayor que su umbral desarrollo. Por eso, en latitudes bajas los cultivares sembrados son los que pueden satisfacer mejor sus crecientes necesidades de días cortos. Además, cuanto más exigente en fotoperíodo corto es un cultivar de soja, tanto más exigente es en sumas térmicas para completar el ciclo. Las tolerancias o exigencias fotoperiódicas y las necesidades térmicas de la soja son, por lo tanto, requerimientos bioclimáticos de magnitudes opuestas.

Sin embargo, no es posible predecir la reacción de un cultivar de soja en un lugar, puesto que en latitudes similares es dable encontrar disponibilidades térmicas diferentes, lo cual hace imprescin-

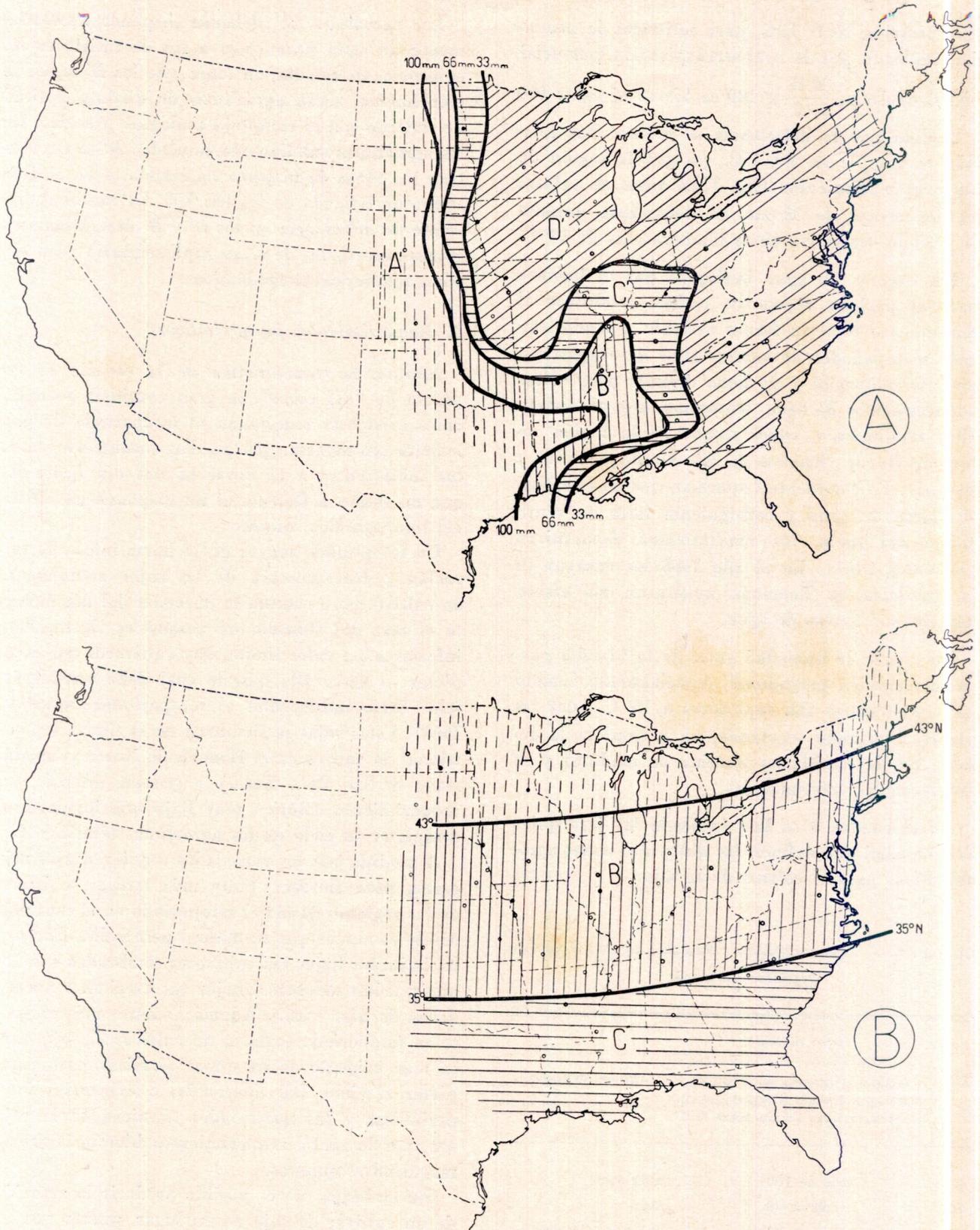


Fig. 5. — (A) Regiones hídricas para el cultivo de la soja en EEUU, según la disponibilidad de agua durante el período vegetativo (milímetros de deficiencias en el balance hidrológico). (B) Regiones fotoperiódicas para el cultivo de la soja según el fotoperíodo (crepúsculo incluidos) del día más largo del año.

CUADRO 4. — Regiones fotoperiódicas. Fotoperíodo en el mes más caliente del año

Zonas	Índice climático	Área latitudinal de cultivo	Precocidad varietal	Tipo de agroclima
	Duración del día en el solsticio de verano (crepúsculos incluidos). Horas y min.			
A''	más de 16 h 30'	más de 43°	precoces	Fotoperíodo muy largo
B''	15h 30' a 16h 30'	35° a 43°	precoces semi-precoces	Fotoperíodo largo
C''	14h 30' a 15h 30'	25° a 35°	semi-precoces semi-tardías tardías	Fotoperíodo mediano
D''	13h 30' a 14h 30'	10° a 25°	semi-tardías tardías	Fotoperíodo corto
E''	menos de 13h 30'	entre 10° N y S	tardías	Fotoperíodo muy corto

dible la realización de ensayos regionales con distintas variedades, para saber el comportamiento bioclimático y el agroclimático, en el que también influye el factor hídrico.

Los resultados de estos ensayos permiten elaborar mapas de distribución de variedades que los EE. UU. publican anualmente aconsejándose los cultivares de mejor comportamiento regional (AMERICAN SOYBEAN ASSOCIATION, 1964/69).

De acuerdo con la duración del ciclo vegetativo, consecuencia de sus requerimientos fotoperiódicos y térmicos, los distintos cultivares de soja se han reunido en diez grupos de precocidad decreciente, escala de 00 a VIII, siendo las sojas del grupo 00 de ciclo muy corto y las del VIII de ciclo muy largo. En cada lugar, la satisfacción de las necesidades bioclimáticas de un cultivar, cualquiera sea su grupo, no se refleja en comportamientos fenológicos tan diferentes. Así, en ensayos efectuados en Buenos Aires con 35 cultivares de todos los grupos de maduración norteamericanos, sólo se determinaron cuatro comportamientos: precoces, semiprecoces, semitardíos y tardíos (PASCALE, REMUSI y MARZO, 1963).

El cuadro 4 presenta las regiones agroclimáticas de acuerdo con la reacción al fotoperíodo.

Esta zonación con sus correspondientes tipos

agroclimáticos, debe considerarse como una división muy general para la gran diversidad de cultivares de soja con reacciones tan variables a la duración del día. En el amplio rango latitudinal de cada zona tienen cabida variedades de distinto tipo de maduración, de acuerdo con la escala norteamericana, especialmente por la interacción del fotoperíodo con el régimen térmico regional. Además, cuando el período del año con temperaturas superiores a 15° C es largo, en las zonas C'', D'' y E'' puede variarse la época de siembra utilizando cultivares con exigencias bioclimáticas distintas. Por lo tanto, es más adecuado en esta clasificación considerar a las variedades en tipos generales de precocidad, tal como se indica en el cuadro 4 y donde cada uno de los cuales incluye varios grupos de la escala norteamericana. A las zonas A'', B'', C'', D'' y E'' corresponden en términos generales, variedades de ciclo vegetativo muy corto, corto, intermedio, largo y muy largo, respectivamente.

La figura 5, B muestra las zonas fotoperiódicas de EE. UU. en las que se siembran todos los tipos de precocidad ya que los cultivares de ciclo más largo se los encuentra hacia el límite sur de la zona C'', debido a un largo período de temperaturas favorables.

DISCUSION

La metodología utilizada permitió determinar los tipos agroclimáticos de soja existentes en los EE. UU. (fig. 8 A). Como el propósito del trabajo fue establecer en qué proporciones están representados los agroclimas de soja en la Argentina con relación a las disponibilidades climáticas del país, las figuras 6 (A y B) y 7 (A y B) muestran la distribución regional de los índices climáticos que definen las relaciones bioclimáticas del cultivo para nuestro país.

Pudo establecerse así que no existen limitaciones térmicas que impidan a la especie satisfacer sus necesidades bioclimáticas pues aún al sur del paralelo de 38°, en la Patagonia, existen zonas con más de 300° de sumas térmicas superiores a 15° C, donde con períodos vegetativos con más de 100 días y con riego, podrían prosperar cultivos de soja.

El análisis de las figuras 6 B y 7 A permiten deducir que la limitación del cultivo de soja en seco en la Argentina la indica la disponibilidad de agua durante el período vegetativo y no la falta de temperaturas estivales. En efecto, la isolinéa de 100 milímetros de deficiencias, limita la región de cultivo posible a dos subregiones, una relativamente amplia hacia el oriente del país y otra, reducida, en el extremo noroeste. La isolinéa adicional de 200 mm de deficiencias, muestra la magnitud de la falta de agua durante los meses de verano en gran parte del territorio argentino.

a) *Subregión oriental*

Debe señalarse que las disponibilidades térmicas del norte de esta subregión son mayores que en las zonas más calientes norteamericanas de cultivo. Influye en esto la característica oceanidad del Hemisferio Sur que determina un suave pasaje de primavera a verano y de otoño a invierno, con mayor acumulación de sumas térmicas superiores a 15° C, especialmente en la parte norte del país, en el cual durante todo el año la temperatura se encuentra, en valores medios, sobre ese nivel. Por lo tanto, la época de siembra de esta subregión no está indicada por el comienzo de la temperatura del aire de 15° C, sino por la disponibilidad de agua para la siembra o por la interacción de las sumas térmicas con el fotoperíodo.

Hacia el sur la limitación es por falta de agua,

pues la isolinéa de 100 mm pasa por el sur de la provincia de Buenos Aires (38° de latitud), zona que sin embargo, tiene más de 600° de sumas térmicas.

En esta subregión oriental, el gradiente de humedad disminuye de NE a SW, pudiendo considerarse como continuación de la región sojera brasileña, con disminución de la aptitud regional para el cultivo en el sentido indicado por el aumento creciente de las deficiencias de agua.

Desde el norte hasta el sur se pueden sembrar desde las variedades de ciclo largo hasta las de ciclo corto, de acuerdo con los tipos agroclimáticos existentes a través de la dilatada franja latitudinal que abarca. Desde el centro de la región pampeana hacia el sur, habrá que elegir tipos varietales que completen su ciclo en forma definida para fines de verano, pues con ciclo largo la maduración coincidiría con el otoño normalmente húmedo y con temperaturas favorables para el crecimiento, condiciones estas inadecuadas en la etapa final del cultivo.

b) *Subregión noroeste*

El régimen monzónico de precipitaciones generado por los vientos húmedos que durante el verano producen lluvias orográficas en esta región (región fitogeográfica de la Selva Tucumano-Oranense), permite el cultivo en el NW del país de una serie de especies, entre las cuales, la soja puede tener un futuro promisor.

Esta subregión es una estrecha franja de N a S, que comienza a oriente cuando los milímetros de deficiencias durante el período estival se reducen a 100 mm y concluye hacia occidente por insatisfacción calórica debido a la altura. El gradiente de disminución de la temperatura de E a W es muy grande y en pocos kilómetros se pasa de 2400° a 1200° de sumas térmicas y de 500-600 mm a más de 1000 mm de precipitación (de 100 mm a menos de 33 mm de deficiencias). Esto hace que deban ajustarse adecuadamente los límites de aptitudes agroecológicas zonales y utilizar cultivares de soja bioclimáticamente definidos para cada disponibilidad climática.

El momento de iniciación del cultivo en esta subregión deberá coincidir con suficiente disponibilidad de agua en el suelo para la siembra, que ocurre normalmente en primavera avanzada, con-

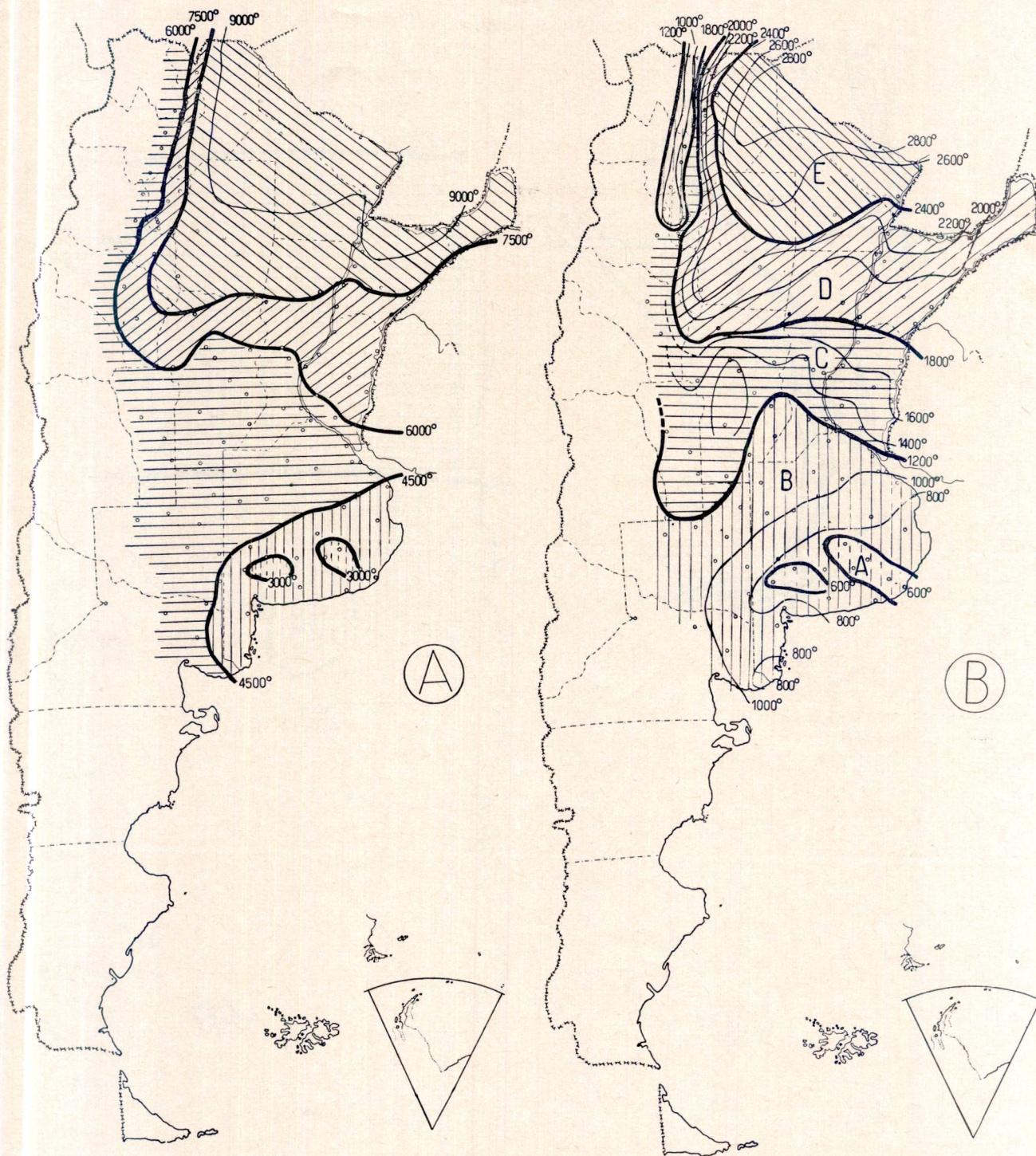


Fig. 6. — Regiones térmicas para el cultivo de la soja en la Argentina, según (A) «Unidades de Desarrollo de la Soja», y (B) suma de temperaturas sobre 15°C (método residual)

cluyendo el ciclo vegetativo de la soja con el principio del período seco que comienza en otoño. Esta característica determina que la cosecha sea de excelente calidad.

Al estudiar las figura 8 (A y B), pudo comprobarse que los tipos agroclimáticos resultantes para Argentina y EE.UU. determinan las características diferenciales de las regiones sojeras en ambos

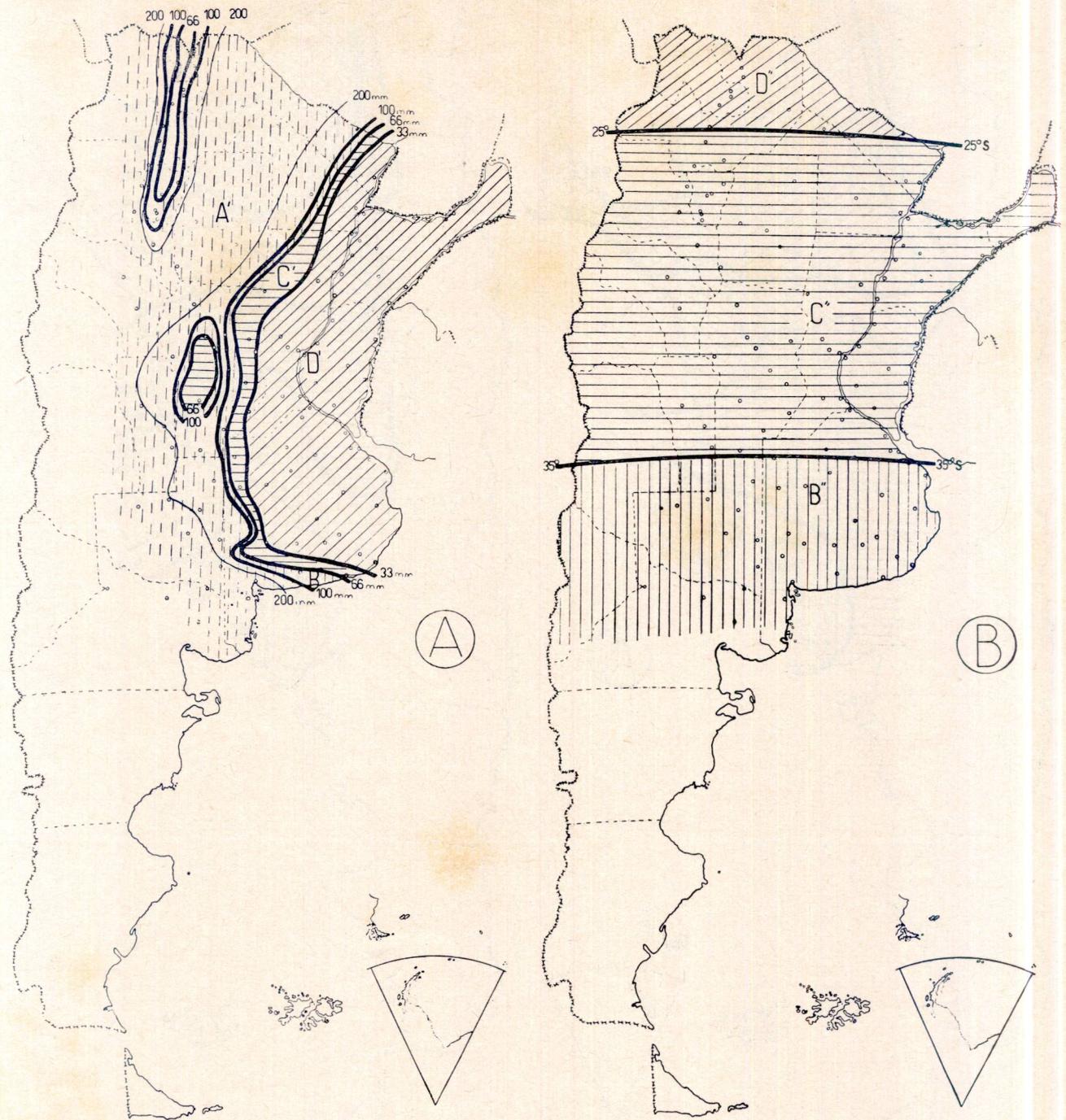


Fig. 7. — (A) Regiones hídricas para el cultivo de la soja en la Argentina según la disponibilidad de agua, durante el período vegetativo (milímetros de deficiencias en el balance hidrológico). (B) Regiones fotoperiódicas para el cultivo de la soja en la Argentina, según el fotoperíodo (crepúsculos incluidos) del día más largo del año.

países. La comparación permitió utilizar con criterio bioclimático el material biológico existente en una región actual de cultivo para otra potencial; esta es la etapa previa a los trabajos fito-

genéticos que conducirán a la obtención de cultivares de soja que se adapten al nuevo complejo ambiental.

Las zonas térmicas *B*, *C* y *D* son las dominantes

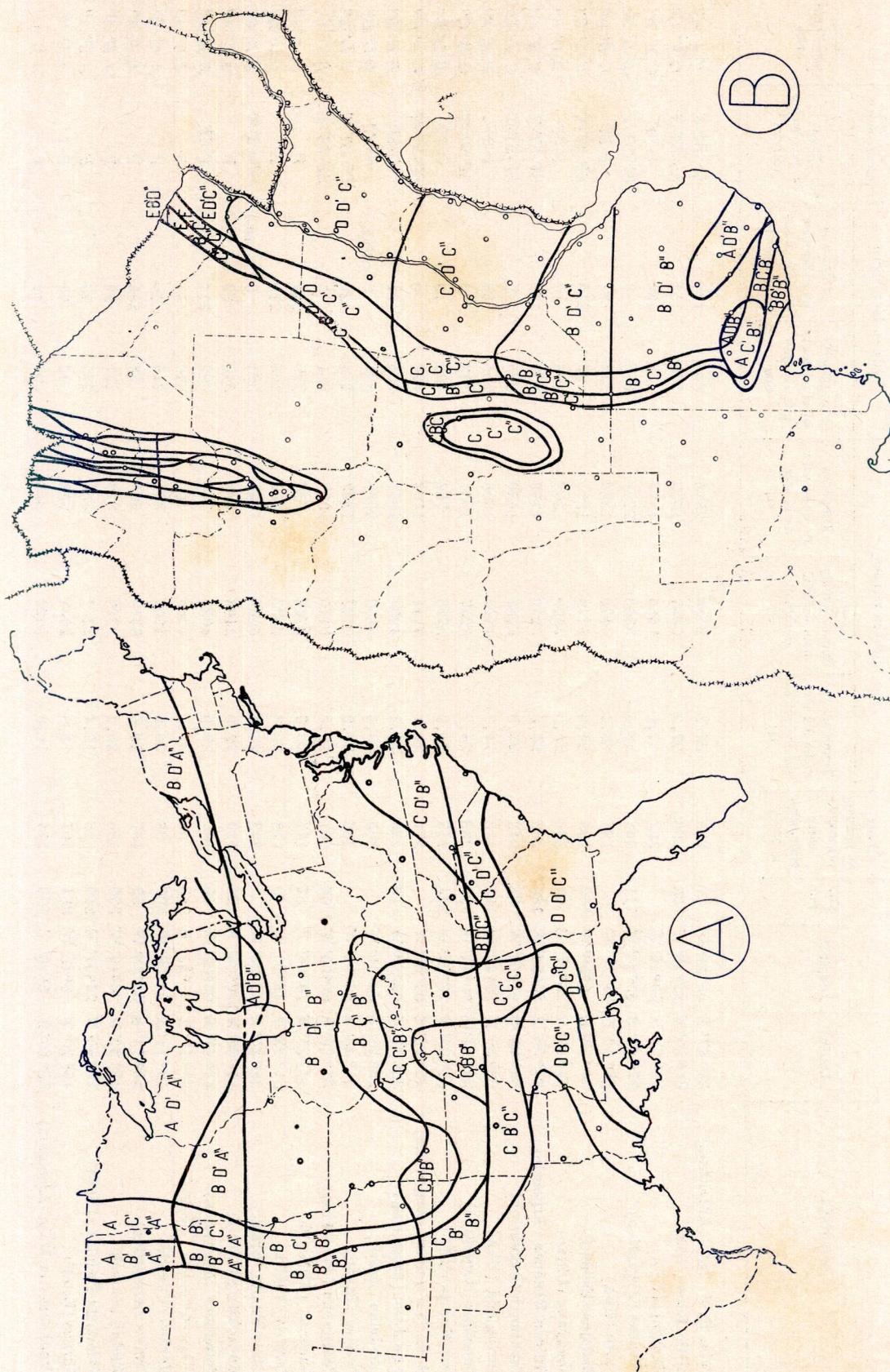


Fig. 8. — (A) Tipos agroclimáticos para el cultivo de la soja en EEUU. (B) Tipos agroclimáticos para el cultivo de soja en la Argentina

CUADRO 5. — *Índices agroclimáticos que definen diferentes tipos agroclimáticos de soja en el mundo*

Localidad	Latitud	Longitud	Alt. m.	Días de período vegetativo entre temp. sup. a 15° C	Régimen térmico			Régimen hidrológico		Régimen fofoperiódico	Tipo agroclimático
					Temperatura media del mes más caliente °C	Suma de temp. sup. a 15° C (residual) °C	Unidades de desarrollo de la soja °C	Precipitación en el trimestre más caliente mm	Milímetros de deficiencia durante el período vegetativo		
Pcia. R. S. Peña (Argentina)	26° 47' S	60° 28' W	90	365	27,9	9566	2510	338	125	SP-ST-T	E' A' C''
Little Rock (USA)	34° 45' N	92° 16' W	109	208	27,2	5857	1653	276	51	SP-ST-T	C' C' C''
Memphis (USA)	35° 05' N	90° 10' W	111	203	27,1	5805	1594	256	80	P-SP	C' B' B''
Posadas (Argentina)	27° 23' S	55° 54' W	111	365	26,5	9303	2281	366	8	SP-ST-T	D' D' D''
Cairo (USA)	36° 50' N	89° 10' W	183	183	26,4	4570	1386	252	81	P-SP	C' B' B''
Badajoz (España)	34° 54' N	6° 58' W	183	195	25,8	5146	1301	32	315	SP-ST-T	C' A' C''
Shenyang (China)	41° 48' N	123° 23' E	43	136	25,2	3529	878	408	10	P-SP	B' D' B''
Huinea Renanco (Argentina)	34° 50' S	64° 22' W	181	206	25,0	5262	1238	259	142	SP-ST-T	C' A' C''
Esperanza (Argentina)	31° 26' S	60° 56' W	38	242	25,0	6081	1436	335	5	SP-ST-T	C' D' C''
Springfield (USA)	39° 50' N	89° 40' W	194	158	24,7	4992	1006	255	36	P-SP	B' B' B''
Tucumán (Argentina)	26° 48' S	65° 12' W	481	269	24,7	7257	1651	473	2	SP-ST-T	C' D' C''
Des Moines (USA)	41° 35' N	93° 37' W	244	145	24,2	3716	768	300	19	P-SP	B' D' B''
R. de la Frontera (Argentina)	25° 48' S	64° 59' W	76	278	24,1	7141	1703	428	0	SP-ST-T	C' D' C''
9 de Julio (Argentina)	35° 27' S	60° 53' W	76	198	24,1	4901	1071	254	21	P-SP	B' D' B''
Londrina (Brasil)	23° 23' S	51° 10' W	365	365	23,9	9052	2006	591	0 (exces.)	ST-T	D' E' D''
Pelotas (Brasil)	31° 45' S	52° 21' W	286	286	23,9	6147	1329	274	27	SP-ST-T	C' D' C''
Pergamino (Argentina)	33° 56' S	60° 33' W	66	207	23,8	5175	1098	311	5	SP-ST-T	B' D' C''
Bucarest (Rumania)	44° 25' N	26° 06' E	82	147	23,3	3769	758	200	144	P	B' A' A''
Saratov (URSS)	51° 23' N	46° 03' E	60	118	22,8	2933	601	109	210	P	B' A' A''
Passo Fundo (Brasil)	28° 20' S	52° 35' W	242	242	22,1	5569	1095	391	0 (exces.)	SP-ST-T	B' E' C''
Mutankiang (China)	44° 35' N	129° 36' E	24	100	22,0	2408	498	310	33	P	A' C' A''
Patagones (Argentina)	44° 47' S	63° 01' W	40	175	22,0	4026	760	90	311	P-SP	B' A' A''
Blagoveshensk (URSS)	50° 15' N	127° 31' E	142	95	21,7	2289	450	310	54	P	A' C' A''
Morden (Canadá)	49° 11' N	98° 06' W	300	96	20,8	2259	366	215	56	P	A' C' A''
Trelew (Argentina)	43° 14' S	65° 18' W	39	151	20,6	3315	521	38	383	P	A' A' A''
Guelph (Canadá)	43° 32' N	80° 15' W	330	105	20,2	2325	376	231	22	P	A' D' A''
Kamenets-Podolsk (URSS)	48° 40' N	26° 34' E	249	113	19,4	2351	353	225	23	P	A' D' A''
Burgos (España)	42° 20' N	3° 42' W	861	101	18,9	2038	268	92	78	P	A' B' C''
Frankfurt Am Main (Alemania)	50° 07' N	8° 40' E	102	114	18,6	2224	278	201	54	P	A' C' C''

¹ P = precoz ; SP = semiprecoz ; ST = semitardío ; T = tardío.

en ambos países, pero mientras la *A* es una región relativamente amplia en EE. UU., en la Argentina es una pequeña área en el sur de la provincia de Buenos Aires. En cambio, la zona *E*, existente en la Argentina no se encuentra en los EE. UU. Estas diferencias no son importantes ya que para cada zona pueden utilizarse cultivares que satisfagan sus exigencias térmicas de acuerdo con las disponibilidades ambientales.

Cuando se considera la disponibilidad de agua para el crecimiento durante el período vegetativo, el tipo agroclimático *D'* ocupa una superficie muy extensa en el territorio norteamericano, determinante de la gran aptitud sojera de la región oriental estadounidense. En cambio, la superficie homóloga argentina es más reducida debido a la aridez que caracteriza gran parte del territorio. Con relación a los tipos varietales de soja, no existe dificultad en la Argentina para sembrar desde los más tardíos al norte hasta los más precoces al sur.

La región noroeste del país merece una mención especial. Allí, en superficie reducida, debido a los gradientes térmico e hidrológico, se concentran igual cantidad de tipos agroclimáticos que en la subregión oriental. Por ello, cuando se efectúe la planificación regional del cultivo de soja en esta subregión, los límites zonales de cada tipo agroclimático deberán trazarse muy cuidadosamente, para lograr un correcto ajuste entre las disponibilidades mesoclimáticas y las necesidades bioclimáticas de los cultivares a utilizar.

Finalmente, en el cuadro 5 se encuentran agrupadas localidades mundiales sojeras actuales, o potenciales en las que se han efectuado experimentos de implantación. En el mismo se hallan lugares que representan zonas límites para el cultivo de soja desde los puntos de vista térmicos e/o hídricos, así como otros, donde los elementos bioclimáticos corresponden a los valores óptimos determinados en este estudio.

CONCLUSIONES

Los tipos agroclimáticos del cultivo de soja en el mundo y especialmente en los EE. UU., valorados en función de la aptitud regional, permiten efectuar consideraciones para la zonificación de la región argentina potencialmente cultivable con soja en secano.

Se puede concluir que no existen razones agroclimáticas que impidan la expansión de áreas de cultivo de soja en la Argentina, pues:

1. En el territorio argentino se encuentran todas las regiones térmicas que forman los tipos agroclimáticos mundiales.

2. Mediante la utilización del límite hídrico para el cultivo, o sea la isolínea de 100 mm de deficiencias en el balance hidrológico durante el ciclo vegetativo, la superficie cultivable con soja en secano en la Argentina, queda limitada a dos subregiones:

- a) subregión oriental: continuación del área sojera brasileña. Abarca las provincias de Misiones, Corrientes, Entre Ríos, casi toda Santa Fe y Buenos Aires y partes de las de Formosa y Córdoba; aproximadamente 700.000 km²;
- b) subregión noroccidental: estrecha franja en el extremo NW del país. Incluye parte de las provincias de Salta, Jujuy y Tucumán; aproximadamente 50.000 km².

Dentro de ambas subregiones la aptitud agroclimática favorable aumenta con la disminución de la deficiencia, no existiendo zonas, que en valores medios, tengan excesos de agua en el período vegetativo de la soja.

3. Dentro de los límites determinados, en las zonas resultantes podrán utilizarse cultivares ya existentes y de probada aptitud que satisfarán sus exigencias fotoperiódicas y térmicas.

La comparación agroclimática realizada confirma las conclusiones favorables que se están obteniendo en los ensayos experimentales para una mayor difusión de la soja en la Argentina. Dentro de la superficie potencialmente apta, estimada en unos 750.000 km², podrán localizarse áreas que satisfagan otras exigencias de la especie, además de las climáticas, para que el país cuente en el futuro a este cultivo entre los más convenientes económicamente.

AGRADECIMIENTO

Al Dr. Héctor G. Aramburu por las oportunas sugerencias efectuadas para la redacción del texto del trabajo y por la traducción al inglés para su presentación en el 5° Congreso Internacional de Biometeorología.

BIBLIOGRAFIA

- AMERICAN SOYBEAN ASSOCIATION. *Soybean Digest*. Blue Book Issue. Hudson, Iowa, 1964/69.
- ARGENTINA. SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL. *Estadísticas climatológicas. 1941-50*. Publicación B₁, N° 3, Buenos Aires, 1958, 161 p.
- *Estadísticas climatológicas. 1951-60*. Publicación B₁, N° 6, Buenos Aires, 1963, 156 p.
- *Normales climatológicas 1931-1960*. No publicado. 1960.
- BROWN, D. M. *Soybean Ecology I. Development-Temperature Relationships from Controlled Environment Studies*. Agronomy Journal, 52 : 493-496. 1960.
- BROWN, D. M. and CHAPMAN, L. J. *Soybean Ecology II. Development-Temperature Moisture Relationships from Field Studies*. Agronomy Journal, 52 : 496-499. 1960.
- *Soybean Ecology III. Soybean Units for Zones and Varieties in the Great Lakes Region*. Agronomy Journal, 52 : 306-308. 1961.
- BURGOS, J. J. *Agroclimatic Classifications and Representations CAGM II*. Doc. 18/24 IX 1958. Item. 10. World Meteorological Organization. Commission for Agricultural Meteorology. Second Session, Varsaw. 1958.
- *Clasificaciones Agroclimáticas*, Informe final. (Conferencia N° 5) Seminario inter-regional en agrometeorología, Organización Meteorológica Mundial, Maracay, Venezuela, 1960.
- BURGOS, J. J., REYES, H. y AQUINO, O. *Tipos agroclimáticos munitiales del cacaoero*. Agronomía Tropical, Maracay, 15 (1-4) : 169-212. 1965.
- GREAT BRITAIN. METEOROLOGICAL OFFICE. *Tables of Temperature, Relative Humidity and Precipitation for the World*. Part. 1/VI. London. 1958.
- NORMAN, A. G. *The Soybean*. New York, Academic Press, 1963. 239 p.
- PASCALE, A. J. and DAMARIO, E. A. *Agroclimatic Wheat Crop Types in the World*. Proceeding 2nd. Int. Biocl. Congr. : 591-606. London, Pergamon Press, 1962.
- PASCALE, A. J., REMUSSI, C. y MARZO, L. *Reacción de distintas variedades de soja a los factores bioclimáticos de Buenos Aires*. Rev. Fac. de Agr. y Vet. Buenos Aires, 15 (3) : 29-54. 1963.
- POLETIKA, W. VON. *Vergleichende Klimaökologie der Sojaanbauggebiete Euasiens und Nordamerikas unter besonder Berücksichtigung der deutschen Verhältnisse*. Berichte des Deutschen Wetterdienstes in der USu Zones. Bad Kissingen. Knoch, Heft. 42 : 406-414. 1952.
- PUERTA ROMERO, J. et. al. *Ensayos de siembras escalonadas en el cultivo de la soja*. Anales Inst. Nac. Invest. Agron. Madrid, 10 (4) : 527-642. 1961.
- THORNTHWALTE, C. W. and MATHER, J. R. *Instructions and Tables for Computing Potential Evapotranspiration and the Water Balance*. Drexel Institute of Technology. Publications in Climatology, Centerton, New Jersey, 10 (3) : 185-311, 1957.
- U. S. WEATHER BUREAU. *World Weather Records. 1941-50*. Washington D. C., 1959. 1361 p.
- VAN SCHAİK, P. H. and PROBST, A. H. *Effects of Some Environmental Factors on Flower Production and Reproductive Efficiency in Soybean*. Agronomy Journal. 50 : 192-197. 1958.