

INVESTIGACIONES AGROMETEOROLÓGICAS PARA EL CULTIVO DE LA SOJA REALIZADAS EN LA CÁTEDRA DE CLIMATOLOGÍA Y FENOLOGÍA AGRÍCOLAS DE LA FAUBA

A.J. PASCALE*

INTRODUCCIÓN

En marzo de este año el Ing. Agr. Rodolfo Golluscio, en su discurso inaugural como Decano de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires, me mencionó al señalar la labor de investigación de las cátedras, iniciadoras de logros importantes para generar beneficios económicos al país. Tal distinción en la exposición permitió que reflexione sobre la importancia de explicitar todo el desarrollo realizado por nuestra cátedra sobre el cultivo de la soja.

Si bien en el libro «Bioclimatología Agrícola y Agroclimatología» que hicieramos con E.A. Damarío publicado por nuestra Editorial Facultad de Agronomía (EFA) en 2004, se explican detalladamente los pasos sucesivos de la investigación que concluyó en la regionalización de la especie para la Argentina, considero que los investigadores, de mediana o reciente incorporación al mejoramiento del cultivo, no tienen conocimiento pormenorizado de los estudios conducidos en la cátedra de Climatología y Fenología Agrícolas, tal como lo expresé en el último párrafo del Prólogo del libro del INTA de 1997, «El cultivo de la soja en la Argentina», editado por Laura M. Giorda y Héctor E.J. Baigorri del Centro Regional Córdoba (448 p.), diciendo: «A los editores expreso mi agradecimiento por distinguirme con la elección para escribir este prólogo que, además de gozar de un sueño realizado, me hizo rememorar la historia inicial, tal vez poco conocida, del incremento de la especie que, como ninguna otra, evolucionó en la Argentina hasta niveles sorprendentes». Esta publicación, dado su carácter informativo del desarrollo del cultivo en el país sólo menciona en un par de párrafos las investigaciones que determinaron su regionalización, lo cual reforzó mi intención de repetir en la Revista de la Facultad de Agronomía el Capítulo 15, parte III del libro de la EFA mencionado, teniendo en cuenta que el logro no es personal sino de la Cátedra que inició los estudios y como obligación de la tarea docente universitaria.

En el convencimiento de que nuestra actividad docente desarrollada desde mediados del siglo pasado fue consecuencia de una idea medular a cumplir en la enseñanza universitaria, por lo menos en las facultades de agronomía, es que me permito enumerar los principios con los cuales ingresé en la Cátedra y que fueron normas cumplidas por el elenco docente de ese ámbito, pasado y actual, no sólo en un desarrollo nacional, sino también latinoamericano.

Sin dudas de que otras cátedras de la Facultad tienen iguales principios y actividades y pueden mostrar logros similares, siendo el propósito desarrollar aquí, en forma ordenada y desde un comienzo, los avances reconocidos sobre las investigaciones agrometeorológicas.

La actividad rectora de todo docente universitario es su dedicación exclusiva, la cual facilita la docencia, la investigación y la extensión como temas relevantes a cumplir en la enseñanza universitaria.

En 1957, el que escribe estas líneas fue uno de los 5 docentes designados con dedicación exclusiva por la UBA en esta Facultad (Ingenieros Agrónomos Osvaldo Boelcke, Felipe Freier, Cándida Caraballo, Antonio J. Pascale y Dr. Eugenio Vonesh), modalidad de actividad universitaria que fue aumentando paulatinamente hasta hacerse norma generalizada en nuestra casa de estudios.

* Profesor Emérito de la Universidad de Buenos Aires Cátedra de Climatología y Fenología Agrícola. Facultad de Agronomía UBA. Av. San Martín 4453. 1417 Buenos Aires.

Hasta entonces, como materia de la carrera agronómica, sólo habíamos conocido algunos aspectos físicos de la atmósfera para el manejo del instrumental meteorológico y su uso pero, a partir de ese año, se adoptó un programa con un amplio y moderno énfasis en agrometeorología, desarrollado por el Ing. Agr. Juan J. Burgos, referente internacional en la materia, dada su actuación como Presidente de la Comisión de Meteorología Agrícola (CMAgr) de la Organización Meteorológica Mundial (OMM).

En 1966 la Cátedra contaba con dos profesores titulares, el Ing. Burgos y el suscripto quienes, respectivamente, se fueron direccionando hacia dos ramas de la Agrometeorología: la Micrometeorología Agrícola, y la Bioclimatología Agrícola. Con esas líneas de trabajo y el acompañamiento de otro profesor, el Ing. Agr. Edmundo A. Damario, con sus trabajos en Agroclimatología, se fueron capacitando sucesivas incorporaciones de alumnos como ayudantes que luego, al graduarse, incluso algunos llegando a obtener el postgrado en la Cátedra o en el extranjero, integraron nuestro cuerpo docente y pudieron ocupar cargos similares por incorporación a las Facultades de Agronomía del país.

Algunos docentes crearon las cátedras de agroclimatología de otras facultades, iniciándolas y cumpliendo tareas de profesores invitados durante varios años como en las de Córdoba, Salta, Jujuy, Bahía Blanca y Azul.

Los conocimientos agrometeorológicos de la Argentina fueron difundidos por medio de nuestra cátedra a varios países de Latinoamérica, a través de cursos de postgraduación (México, Venezuela, Ecuador, Brasil) o por cursos en Buenos Aires con becarios de Brasil, Italia, Venezuela, Bolivia, Chile, entre otros, no importando señalar detalles sino solamente mostrar que la culminación de estas tareas fue la creación de la Asociación Argentina de Agrometeorología y la Federación Latinoamericana de Agrometeorología.

Todavía, luego de sesenta años, las cátedras de Climatología y Fenología Agrícolas de todo el país, continúan con el mismo programa temático de estudios originado en la FAUBA, con los agregados de actualización lógicos de una ciencia que avanza acorde con las ventajas de su aplicación en la agricultura moderna.

La labor docente debe ir acompañada por el desarrollo de un tema de investigación motivador para los alumnos, al tomar conocimiento de los resultados que se vayan obteniendo al confrontarlos con otros trabajos sobre el tema, en discusiones especialmente acordadas, donde se visualicen las posibilidades o ventajas de su incorporación a prácticas agronómicas.

Para el tema de la investigación seleccionada no es posible fijar pautas pero, de preferencia, serán consideradas esenciales las novedosas o primicias sobre temas básicos o poco explotados, posibles de logros de extensión económicamente factibles.

Tal sucedió con la elección motivo de esta nota. Al iniciar mi dedicación exclusiva en la Cátedra tenía experiencia en la temática de Bioclimatología Agrícola, con una metodología original a campo, con la cual se habían logrado resultados tangibles y valederos para cultivos de gramíneas invernales.

La circunstancia de disponer de unas pocas semillas de cinco cultivares de soja, extremadamente distintas en precocidad, en una siembra efectuada en el campo experimental de la Facultad, originó la idea de que la gran variabilidad genética existente en la especie debería tener toda la gama de posibilidades en el extenso territorio del país, dada la combinación de complejos ambientales latitudinalmente disponibles. Tal suposición, se plasmó en el plan de un trabajo conjunto con el Ing. Agr. Carlos Remussi, profesor de Cultivos Industriales, cuyo desarrollo se presentará aquí de manera explícita.

Quiero señalar que el desarrollo de esta investigación fue acompañado por un trabajo de extensión, tema también prioritario en los propósitos de la docencia universitaria que, a nivel nacional fue encarado, además, con el Dr. Ernesto Parellada, del Instituto Agroindustrial de Oleaginosos (IADO) y la participación de la Bolsa de Cereales de Buenos Aires.

Durante el estudio y a medida que se obtenían resultados, de manera frecuente durante la década del 60' se realizaban viajes para presentarlos en reuniones de agricultores, generalmente asociados en cooperativas, señalándose para este nuevo cultivo, las posibilidades y las dificultades a superar.

Con el conocimiento de las exigencias bioclimáticas de los cultivares de soja ensayados y de las áreas donde tales requerimientos podían ser satisfechos, en 1969 pudo regionalizarse el cultivo de la especie en el país¹, metodología que fue recomendada por la OMM para la caracterización de regiones agroclimáticamente aptas para el cultivo de la soja².

Las cátedras iniciadoras del estudio que habían implementado la Red Nacional de Soja, la derivaron al organismo específico, el INTA, para su continuidad y asesoramiento a los agricultores de la técnica agronómica correspondiente.

A partir de mediados de la década del 70', recibido el Premio de la Bolsa de Cereales (período 1975-1976) por la labor de investigación realizada por ambas cátedras, la de Climatología y Fenología Agrícolas continuó con los estudios agroclimáticos a mesoescala, que concluyeron con el conocimiento agroecológico de las dos subregiones: la oriental y la noroccidental, aptas para el cultivo en secano de la soja en la Argentina.

En forma sucinta se ha relatado el funcionamiento de la Cátedra de Climatología y Fenología Agrícolas según un patrón de docencia, investigación y extensión que fue y es norma desde mediados del siglo pasado. Acá sólo se relatará lo referente al cultivo de la soja pero, con su mismo esquema de experimentación en Bioclimatología Agrícola, la cátedra con sus investigadores regionalizó la siembra de otros cultivos extensivos. En los últimos años, la necesidad impuesta por los estudios de la variabilidad del clima, determinó la puesta en marcha de investigaciones sobre el cambio climático y los pronósticos meteorológicos a corto y mediano plazo, los cuales representan una actividad relevante dada la importante contribución para el conocimiento de eventos, como sequía, actuantes en las distintas etapas del ciclo de los cultivos.

A continuación y, cronológicamente, se incluye toda la labor de investigación realizada por la Cátedra, las reuniones nacionales e internacionales de divulgación y conocimiento del cultivo de la soja, así como las publicaciones que hicieron posible la redacción del capítulo 15 del libro mencionado al comienzo, con algunas actualizaciones estadísticas.

Desarrollo cronológico de las investigaciones realizadas en la Cátedra de Climatología y Fenología Agrícolas de la FAUBA tendientes a regionalizar el cultivo de la soja en la Argentina

***Ira. etapa* – CONOCIMIENTO BIO Y AGROCLIMÁTICO INICIAL DEL CULTIVO. (1958-1970)**

A – Experimentación

1958

– Iniciación de la experimentación biometeorológica de la especie en el campo experimental de la Facultad de Agronomía de la UBA con sólo 5 cultivares, llegando en 1971 a estudiar el comportamiento de 240, cuando se transfirió la colección a las Estaciones Experimentales del INTA para la continuación de la Red Nacional de Soja.

1 Pascale, A.J. 1969. «Tipos agroclimáticos para el cultivo de la soja en la Argentina». *Revista Facultad de Agronomía y Veterinaria*, Buenos Aires 17(3): 31-48.

2 Mota F.S. da, 1978. «Soybean and weather». Technical Note N° 160. WMO N° 498. 64 p.

1964-1966

– Red Nacional de Soja. Conducción de la experimentación agroecológica regional en 33 ubicaciones del interior del país. Co-dirección (cátedra de Cultivos Industriales, del Plan CAFPTA N° 113.

1968-1970

– Red Nacional de Soja. Conducción de la experimentación agroecológica nacional en 54 ubicaciones del interior del país. Co-dirección (cátedra de Cultivos Industriales) del Plan CAFPTA N° 128.

B – Reuniones Técnicas y Congresos

1968

– Asistencia a la 1ra. Reunión Técnica Nacional de Soja realizada en S.M. de Tucumán, exponiéndose «Aspectos bioclimáticos y climáticos de la soja».

1969

– Asistencia al «5th International Biometeorological Congress» realizado en Montreux (Suiza), presentándose «Agroclimatic types for Soybean Crop in Argentina».

1970

– Asistencia como relatora del capítulo «Clima» en el «Primer Simposio Brasileiro de Soja», realizado en Campinas (Brasil), y exposición del tema «La temperatura y la humedad en el cultivo de la soja».

– Organizadora junto a la cátedra de Cultivos Industriales de la 2da. Reunión Técnica Nacional de Soja realizada en Buenos Aires, presentando un trabajo.

– Asistencia a la VIII Reunión Latinoamericana de Fitotecnia realizada en Bogotá, Colombia, exponiéndose «Requerimientos bioclimáticos de los grupos de cultivares de soja».

C – Publicaciones de esta etapa. (Se incluyen en el anexo I)

2da. Etapa – DIFUSIÓN Y EXPANSIÓN DEL CULTIVO. (1971-1979)

A – Reuniones Técnicas y Congresos

1971

– Integró la «Comisión Permanente para el Fomento del Cultivo de la Soja» creada a partir de una ponencia de la 2da. Reunión Técnica Nacional de Soja (Buenos Aires, 1970). Esta comisión actuó activamente en la difusión de las particularidades y beneficios de la implantación del cultivo. Junto al Ing. Remussi (Cátedra de Cultivos Industriales) y el Dr. E. Parellada (IADO) se realizaron diferentes viajes a centros agrícolas del interior del país asesorando a los grupos de agricultores interesados en el nuevo cultivo.

1972

– Asistencia a la 3ra. Reunión Técnica Nacional de Soja, realizada en Posadas (Misiones), presentándose un trabajo.

1974

– Asistencia a la 4ta. Reunión Técnica Nacional de Soja, realizada en Salta, presentándose tres trabajos.

1976

– Participación en la 4ta. «IV Reunião Conjunta de Pesquisa da Soja – RS/SC» en Santa María (RS -Brasil) pronunciándose la conferencia «Evolución de la investigación agroclimática en el cultivo de la soja».

1977

– Asistencia a la 5ta. Reunión Técnica Nacional de Soja, realizada en Miramar (Buenos Aires), presentándose dos trabajos.

– A. J. Pascale recibió el Premio al Mérito Científico otorgado por la Fiesta Provincial de la Soja (Santa Fe, Argentina).

1978

– Invitada al «I Seminario Nacional de Pesquisa da Soja» realizado en Londrina (Pr, Brasil) exponiéndose sobre «Agroclimatología del cultivo de la soja».

1979

– Asistencia a la 6ta. Reunión Técnica Nacional de Soja, realizada en Santa Fe, presentándose un trabajo.

B – Publicaciones de esta etapa. (Se incluyen en el Anexo II)

3ra. etapa – AUMENTO CRECIENTE DEL CULTIVO. (1980-1988)

A - Desarrollo tecnológico eficiente e industrialización

1980

– Alcanzada la promoción del cultivo en la 2da Etapa (1971-1979) y cumplido los objetivos de su creación, se disolvió la Comisión Permanente para el Fomento del Cultivo de la Soja, transformándose en la Asociación Argentina de la Soja, fundada el 30 de mayo de 1980 para desarrollar la producción, industrialización y uso de la soja. Integra la Comisión Directiva el Ing. A.J. Pascale, como representante de la Facultad de Agronomía, con el cargo de Vicepresidente 1°.

B – Reuniones Técnicas y Congresos

1981

– Asistencia a la 7ma. Reunión Técnica Nacional de Soja, realizada en Córdoba, presentándose un trabajo.

1983

– Asistencia a la 8va. Reunión Técnica Nacional de Soja, realizada en S.M. de Tucumán, presentándose dos trabajos.

1986

– Asistencia a la 9na. Reunión Técnica Nacional de Soja, realizada en Resistencia (Chaco), presentándose un trabajo.

C – Publicaciones de esta etapa. (Se incluyen en el anexo III)

4ta. Etapa – LA ARGENTINA, PRODUCTORA MUNDIAL DE SOJA. (1989...)

A – Importancia del cultivo de la soja a nivel nacional y mundial

La evolución tan favorable en la década del 80' derivó en la designación de la Argentina como sede de la IV Conferencia Mundial de Investigación en Soja («World Soybean Research Conference IV»), realizada en Buenos Aires del 5 al 9 de marzo de 1989.

Ningún cultivo tuvo en el país un crecimiento anual tan rápido. Hoy representa la mayor fuente de divisas por la exportación de sus granos, aceite, y subproductos. El incremento ininterrumpido del área de siembra debe atribuirse a la correcta experimentación en los aspectos bio y agroclimáticos iniciada a comienzos de la década del 60' en la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires, continuada posteriormente por las Estaciones Experimentales del INTA y empresas particulares que fueron desarrollando el paquete tecnológico actualmente disponible.

En el año 1970 la producción de soja en la Argentina sólo representaba el 0,09% de la producción mundial, la que alcanzó al 10% en la campaña 95/96 con la cosecha de más de 12 millones de toneladas, sólo inferior a la de Estados Unidos, Brasil y China.

El cultivo está consolidado y en la campaña agrícola 2006/07 participó con el 20% de la producción mundial ocupando el tercer puesto, luego de Estados Unidos y Brasil. El promedio del rendimiento de los últimos 20 años fue de 2.072 kg/ha, como muestra del avance tecnológico logrado, en la década 1997/98-2006/07 ese promedio alcanzó los 2.608 kg/ha, un 15% mayor que el rendimiento mundial promedio para ese mismo período.

B- Reuniones Técnicas, Congresos y Distinciones

1989

– A.J. Pascale designado Presidente de la 4ta Conferencia Mundial de Investigación en Soja («World Soybean Research Conference IV»), realizada en Buenos Aires (Argentina) del 5 al 9 de marzo de 1989.

1990

– A.J. Pascale Consultor en Agroclimatología de la Soja (Proyecto PROCISUR-IICA) en la Universidad de Santa María (RS, Brasil) del 18 al 24 de marzo de 1990.

1991

– Asistencia a la primera Reunión Nacional de Oleaginosos, realizada en Rosario, presentándose un trabajo.

1995

– A.J. Pascale designado Presidente Honorario del Primer Congreso Nacional de Soja y Segunda Reunión de Oleaginosas, Pergamino, octubre de 1995, presentándose cuatro trabajos.

2002

– Designación de "Aula Profesor Titular Consulto Ing. Agr. Antonio J. Pascale" ubicada en el pabellón de Biología de la Facultad de Agronomía, por la labor de investigación en el cultivo de la soja, como integrante en la cátedra de Climatología y Fenología Agrícolas.

2009

– Con motivo de la celebración del centenario del Centro Argentino de Ingenieros Agrónomos (CADIA), el 8 de septiembre de 2009, A.J. Pascale recibió Medalla Distinción por los aportes realizados en la incorporación del cultivo de soja en la agricultura argentina.

C - Publicaciones de esta etapa. (Se incluyen en el Anexo IV)

ANEXO I

Publicaciones durante la primera etapa: Conocimiento bio y agroclimático inicial del cultivo (1958-1970)

1963

- A.J. Pascale; C. Remussi y L. Marzo. «Reacción de distintas variedades de soja a los factores bioclimáticos de Buenos Aires». *Rev. FAV*, Bs. As., 16(3): 29-54, 1963.

- A.J. Pascale y C. Remussi «Importancia de la elección de las variedades en el cultivo de soja». *Ingeniería Agronómica*, Bs. As., 28-34, 1963.

1966

- A.J. Pascale y C. Remussi. «Estudio agroecológico para el cultivo de la soja en la República Argentina». *Informe de la Red Nacional de Soja*. Univ. de Bs. As., Fac. de Agr. y Vet., Cátedras de Climatología y Fenología Agrícolas y de Cultivos Industriales. 38 p. mimeog. Plan CAFPTA N° 113.

1969

- A.J. Pascale. «Tipos agroclimáticos para el cultivo de la soja en la Argentina». *Rev. FAV*. Bs. As., 17(3): 31-48, 1969.

1970

- A.J. Pascale. «Aspectos bioclimáticos y climáticos de la soja». Primera Reunión Técnica Nacional de Soja. S.M. de Tucumán, 1968. Publicado en *Rev. Agronómica del Noroeste Argentino* 8(1-2): 15-40, 1970.

ANEXO II

Publicaciones durante la segunda etapa: Difusión y expansión del cultivo (1971-1979)

1971

- A.J. Pascale y E.A. Escales. «Requerimientos bioclimáticos de los cultivares de soja: I-Sub-período siembra-floración». *Rev. FAV* (Bs. As.), 19 (1-2): 15-24, 1971.

- A.J. Pascale y C. Remussi. «Estudio agroecológico para el cultivo de la soja en la República Argentina». *Informe de la Red. Nacional de Soja*. Univ. de Bs. As., Fac. de Agron. y Vet., Cátedras de Climatología y Fenología Agrícolas y de Cultivos Industriales. 35 pág. Mimeog. Plan CAFPTA. N° 128.

1972

- A.J. Pascale. «Exigencias bioclimáticas de los cultivares de soja en el sub-período de siembra-floración». 2da. Reunión Técnica Nacional de la Soja. Publicación de la Comisión Permanente para el Cultivo de la Soja. Bs. As.: 1-9, 1972.

- A.J. Pascale; J.A. Villegas y L.F. Medina. «Aptitud agroclimática del noroeste argentino para el cultivo de la soja». Trabajo presentado en la 3ra. Reunión Técnica Nacional de Soja, Posadas (Misiones). Publicado en *Rev. Agron. N.O. Argent.*, 10(3) 173-203, 1973 y en *IDIA*, 306-8: 59-75, 1973.

1973

- C. Remussi; A.J. Pascale y H. Saumell. «La soja, su cultivo y utilización». Publicación I.A.D.O., F.A. y FIAT, 16 pág. Buenos Aires, 1973.

1974

- A.J. Pascale. «Exigencias bioclimáticas del cultivo de soja y sus posibilidades agroclimáticas en la Argentina». Jornada Integral de Soja. Pub. Com. Perm. Fomento Cultivo Soja: 7-11, Buenos Aires, 1974.

1975

- A.J. Pascale y E.M. Sierra. «Suma de temperaturas necesarias para el cultivo de distintos cultivares de soja». 4ta. Reunión Técnica Nacional de Soja. -Salta 30/09 - 03/10 de 1974. *IDIA*, Supl. N° 31: 17-28, 1975.

- A.J. Pascale y G.M. Murphy. «Condiciones agroclimáticas para la maduración de la soja en la subregión oriental». 4ta. Reunión Técnica Nacional de Soja. -Salta 30/09 - 03/10 de 1974. *IDIA*, Supl. N° 31: 41-53, 1975.

- A.J. Pascale; M. Bernal y J.A. Villegas. «Régimen hídrico para el cultivo de la soja en el noroeste argentino». 4ta. Reunión Técnica Nacional de Soja. -Salta 30/09 - 03/10 de 1974. *IDIA*, Supl. N° 31: 29-40, 1975.

- C. Remussi; A.J. Pascale y H. Saumell. «La soja, cultivo, rotación, mejoramiento, posibilidades en el mercado interno e internacional». Premio de la Academia de Agronomía y Veterinaria por el periodo 1974-1975, 105 pág. (Trabajo inédito).

1977

- A.J. Pascale y G.M. Murphy. «Análisis bioclimático del comportamiento de siete cultivares de soja en el ambiente de Buenos Aires». 5ta Reunión Técnica Nacional de Soja, Miramar (Buenos Aires), 8-11/3/77 *Actas*, 2: 385-396.

- A.J. Pascale y R.O. Rodríguez. «Aptitud mesoagroclimática hídrica de la subregión oriental para el cultivo de la soja». 5ta Reunión Técnica Nacional de Soja, Miramar (Buenos Aires), 8-11/3/77, *Actas*, 2: 414-424.

- C. Remussi y A.J. Pascale. «La soja. Cultivo, mejoramiento, comercialización, usos». Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería. 2da Edición, Tomo II, Fascículo 12-4, 104 p. Editorial ACME SACI, Buenos Aires, 1977.

1978

- A.J. Pascale y O.D. Pórfido. «Zoneamiento mesoagroclimático hídrico do Rio Grande do Sul para a cultura da soja». *Anais I Seminario Nacional de Pesquisa da Soja* (Londrina - Pr - Brasil, 24-30/9/1978), Centro Nacional de Pesquisa da Soja, EMBRAPA, 1: 117-129, 1979.

1979

- A.J. Pascale; O.D. Pórfido; E.M. Sierra y L.E. Torre de Fassi. «Valoración mesoagroclimática del noroeste argentino para el cultivo de la soja». 6ta. Reunión Técnica Nacional de Soja, Santa Fe, 5-8/6/1979 *Trabajos Presentados*, 1: 25-57.

ANEXO III

Publicaciones durante la tercera etapa: Aumento creciente del cultivo
(1980-1988)

1981

- En julio de 1981 aparece el primer número de la Revista de la Asociación Argentina de la Soja (*Revista AA Soja*), publicación oficial de la Asociación con la finalidad de cumplir los objetivos de su creación, integrando el Ing. A.J. Pascale la Comisión de Revista, de la que fue su *Editor Responsable* para su aparición continuada durante 9 años, cuyo último número se publicó en noviembre de 1989 (Año IX, N° 4, 1989)

- A.J. Pascale y R.O. Rodríguez «Los rendimientos de la soja en la Argentina». 7ma. Reunión Técnica Nacional de Soja, Córdoba 6-9/10/81 *Trabajos Presentados* 1: 1-15.

1982

- Ravelo, A.C.; A.J. Pascale and A.M. Planchuelo de Ravelo. «Modeling soybean development from daylength and temperature data». Sixteenth International Symposium on remote sensing of environment. 2-6 June 1982, Buenos Aires, Argentina. Vol. II: 991-996.

1983

- A.J. Pascale; C.R.O. Miaczynski; R.O. Rodríguez y E.R. Trigo. «Aptitud ecológica de la región oriental argentina para el cultivo de la soja». 8va. Reunión Técnica Nacional de Soja. San Miguel de Tucumán, 27-30/9/1983. *Trabajos Presentados*, 8: 1-19.

- A.J. Pascale; A.C. Ravelo y A.M. Planchuelo de Ravelo. «Modelo para estimar los estados fenológicos de la soja». 8va Reunión Técnica Nacional de Soja. San Miguel de Tucumán, 27-30/9/1983. *Trabajos Presentados* 8: 65-71.

1985

- A.J. Pascale. «Agroclimas hídricos para el cultivo de la soja». *Rev. Ind. y Agrícola de Tucumán* 62(1): 107-138, 1985.

1986

- A.J. Pascale; G.S. Fadda; C.M. Lamelas y M.R. Casanova. «Aptitud agroecológica de la provincia de Tucumán para el cultivo de la soja». 9na. Reunión Técnica Nacional de Soja, Resistencia (Chaco), 5-8/10/1986. *Trabajos Presentados*, A: Ecología y Fisiología: 1-9. Reproducido en *Rev. Ind. y Agrícola de Tucumán* 63(1): 1-22, 1986.

ANEXO IV

Publicaciones durante la cuarta etapa: La Argentina productora mundial de soja.
(1989 ...)

1989

- A.J. Pascale and A.C. Ravelo. «A World Agroclimate Classifications for Soybean». *Proceedings World Soybean Research Conference IV*, Buenos Aires, 1: 112,123, 1989.

- A.J. Pascale and A.C. Ravelo. «Agroclimatic types of soybean». *J. of Foreign Agric. Sci.* 1: 1-9.

- A.J. Pascale; G.S. Fadda; C.M. Lamelas y M.R. Casanova. «Aptitud agroecológica del noroeste argentino para el cultivo de la soja en secano». *Proceedings World Soybean Research Conference IV*, Buenos Aires, 1: 142-150, 1989.

- A.J. Pascale es *Editor* de los «*Proceedings World Soybean Research Conference IV*» Vol. I-V: 1-2388, 5-9 March 1989, Buenos Aires, Argentina.

- A.J. Pascale. «Evolución del cultivo de la soja en la Argentina». *Rev. A. A. Soja* 9: (1-2): 9-17, 1989.

1991

- En octubre de 1991 aparece el primer número de la *Revista Oleaginosos* (órgano oficial del Consejo Coordinador de Oleaginosos, integrado por la Asociación Argentina de la Soja, Asociación Argentina de Girasol y Simposio de Oleaginosos) como continuidad de la *Revista A. A. Soja*, de la que A.J. Pascale fue también su *Editor Responsable*.

- A.J. Pascale. «Evolución de los cultivos oleaginosos en los últimos 30 años». *Revista Oleaginosos* 0: 4-9. 1991.

1993

- A.J. Pascale. «La producción sojera argentina se concentra en la Pampa Húmeda». *Revista Oleaginosos* 4: 6-16, 1993.

- A.J. Pascale. «Evolución del cultivo de la soja en el noroeste de la Argentina». *Revista Oleaginosos* 5: 6-12, 1993.

1995

- A.J. Pascale; E.A. Damario y J.A. Forte Lay. «Zonificación por aptitud mesoagroclimática de la subregión oriental para el cultivo de la soja». Primer Congreso Nacional de Soja, Pergamino, Argentina. Cap. II. Manejo y Producción, *Actas* 1: 9-16.

- A.J. Pascale; E.A. Damario y J.A. Forte Lay. «Tipos agroclimáticos actuales de la soja en la subregión oriental argentina». Primer Congreso Nacional de Soja, Pergamino, Argentina. Cap. II. Manejo y Producción, *Actas*, 1: 17-23.

- A.J. Pascale; E.A. Damario y C.R.I. Miaczinski. «Zonificación ecológica de la región oriental argentina para el cultivo de la soja». Primer Congreso Nacional de Soja, Pergamino, Argentina. Cap. II. Manejo y Producción, *Actas* 1: 24-35.

- A.J. Pascale; C.M. Lamelas y L.C. Suárez. «Modificación de la aptitud agroclimática sojera en Tucumán en el período 1961-90 como consecuencia del salto climático». Primer Congreso Nacional de Soja, Pergamino, Argentina. Cap. II. Manejo y Producción, *Actas* 1: 73-80.

1996

-A.J. Pascale. «Evolución del cultivo de la soja en la Argentina». *Revista Oleaginosos* 5(15): 5-10.

2004

- A.J. Pascale. «Índices agroclimáticos que determinaron la región sojera en la Argentina». Disertación con motivo de la incorporación a la Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria, como Académico de Número (13/05/04). *Anales de la Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria*. Tomo LVII: 109-147.

2006

– L.B. Spescha y A.J. Pascale. «Aspectos agroclimáticos del cultivo de soja en la provincia de Chaco-Argentina». *Actas, XI Reunión Argentina de Agrometeorología*; La Plata (Bs. As.), 5-8 septiembre, pág. 58-59.

2009

– Pascale, A.J. y C. Lamelas. «25 años de labor agrometeorológica en la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres» *Rev. Fac. de Agronomía UBA*, 29(2): 81-136.

A continuación se transcribe el capítulo 15: 439-495 con adecuaciones estadísticas, de la Parte III, del libro *Bioclimatología Agrícola y Agroclimatología* publicado por la Editorial Facultad de Agronomía (EFA), Buenos Aires, 550 p, 2004, donde se resume toda la labor de investigación sobre el cultivo desarrollada en la Cátedra desde el año 1957, según la cronología presentada precedentemente (páginas 3 a 6), siendo el resultado de la sucesión de trabajos de investigación que figuran en los anexos I a IV y en los pie de página de la reproducción, cuando son citas no encontradas en "Publicaciones" de los anexos mencionados.

● **CAPÍTULO 15**

A.J. Pascale y E.A. Damario (2004) (Bioclimatología agrícola y Agroclimatología. Editorial Facultad de Agronomía, UBA. 550 p.)

CLASIFICACIÓN POR TIPOS AGROCLIMÁTICOS PARA EL CULTIVO DE LA SOJA

- 15.1 Fundamentos para la clasificación
- 15.2 Clasificación por tipos macroagroclimáticos
- 15.3 Tipos macroagroclimáticos de la soja en la Argentina
- 15.4 Tipos mesoagroclimáticos para el cultivo de la soja en la Argentina y criterios de aptitud regional
- 15.5 Clasificación por aptitud agroecológica
- 15.6 Evolución del cultivo de la soja en la Argentina

CAPÍTULO 15

CLASIFICACIÓN POR TIPOS AGROCLIMÁTICOS PARA EL CULTIVO DE LA SOJA

El estudio de los Índices Agroclimáticos aplicables al cultivo de la soja reconoce motivos diferentes a los que impulsaron el estudio del cultivo de trigo. El trigo era tradicionalmente cultivado en la Región Pampeana, en tanto que la soja, a pesar de los repetidos ensayos realizados desde comienzos del siglo XX, no había logrado un desarrollo cultural sostenido. Hacia finales de la década del 60 (Cuadro 15.1), la producción argentina era sólo del 0,05% del total mundial, con sólo 20 toneladas recogidas en focos aislados de las provincias de Misiones, Tucumán y Santa Fe, completando una superficie extrañamente reducida en comparación con la sembrada en otros países americanos, especialmente en Estados Unidos de Norteamérica.

Las causas del reducido interés de la agricultura argentina por la soja en ese entonces, no eran fáciles de explicar, aunque *a priori* podrían atribuirse a la falta de suficientes estudios experimentales y no a condiciones ecológicas inadecuadas, pues la Argentina era gran productora de maíz y, en EE.UU., son intercambiables en la rotación

CUADRO 15.1. Principales países productores de soja en 1967 (American Soybean Association, 1969).

País	Superficie cultivada miles ha	Rendimiento kg/ha	Producción	
			Miles de ton	% del total mundial
EE.UU.	16.094	1.648	20.564	72,9
China Continental	8.181	847	6.940	19,0
Brasil	530	1.284	679	1,9
U.R.S.S.	855	646	550	1,5
Indonesia	661	733	484	1,3
Canadá	117	1.876	220	0,6
Corea del Sur	310	646	201	0,6
Japón	141	1.345	190	0,5
México	60	2.018	121	0,3
Colombia	48	1.668	80	0,2
Argentina	17	1.184	20	0,05
Otros				1,15
Total Mundial	27.646	1.318	36.456	100

dato que ambos cultivos tienen exigencias bioclimáticas similares. Tampoco eran aceptables razones económicas pues, tanto para consumo interno como para la exportación, hubiera representado una importante fuente de ingresos.

Los estudios bioclimáticos con base experimental de la soja se iniciaron a fines de 1950 en la Cátedra de Climatología y Fenología Agrícolas de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Universidad de Buenos Aires y se completaron con dos planes de investigación (CAFPTA N° 113 y 128), con la participación también de la Cátedra de Cultivos Industriales de la misma Facultad.

A partir del año 1975, el INTA se hizo cargo de la continuidad de la investigación y de la promoción del cultivo de esta oleaginosa. Esta labor, conjuntamente con la utilización de cultivares más adecuados (Consejo Coordinador de Oleaginosas⁽¹⁾, 1992), de mejores métodos culturales y, especialmente, el elevado beneficio económico de la soja en comparación con el de las especies tradicionales de cultivo estival, determinaron un explosivo incremento de la producción, la que actualmente ubica a la Argentina en el tercer lugar entre los productores mundiales. En el Cuadro 15.2 se muestra la posición de la Argentina en dos trienios, de los últimos años. En el incremento de producción contribuyeron la utilización de técnicas culturales de avanzada, como la siembra directa, la utilización de cultivos transgénicos conjuntamente con el creciente aumento de las precipitaciones estivales a partir de los '50 en la mayor parte de la región sojera (Forte Lay *et al.*, 1992; Sierra *et al.*, 1993/94), las que favorecieron no solamente la obtención de altos rendimientos, sino que permitieron la gran expansión del cultivo en secano hacia regiones otrora consideradas como hídricamente ineptas.

CUADRO 15.2. Producción trienal promedio de los principales países sojeros en el mundo (miles de toneladas).

País	Período 1988-89 / 1990-91		País	Período 1999-00 / 2001-02	
	Promedio	% sobre el total mundial		Promedio	% sobre el total mundial
E.E.U.U.	48.937	47,5	E.E.U.U.	75.750	44,4
Brasil	20.685	20,1	Brasil	37.440	21,9
China	11.135	10,8	Argentina	25.715	15,1
Argentina	9.100	8,8	China	15.833	9,3
India	1.734	1,7	India	5.457	3,2
Paraguay	1.616	1,6	Paraguay	3.229	1,9
Indonesia	1.328	1,3	Canadá	2.196	1,3
Canadá	1.233	1,2	Indonesia	927	0,5
U.R.S.S.	921	0,9	Nigeria	434	0,2
Tailandia	618	0,6	R.P.D. Corea	353	0,2
Resto del Mundo	5.703	5,5	Resto del Mundo	3.412	2,0
Total Mundial	103.010	100	Total Mundial	170.629	100

(1) Consejo Coordinador de Oleaginosas, 1992. "Oleaginosos" 2: 74-86.

15.1 FUNDAMENTOS PARA LA CLASIFICACIÓN

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

El área de origen más probable de la especie, centro y norte de China, presenta temperaturas y fotoperíodos, posibles de encontrar reproducidas en determinadas zonas de la Argentina, pero sin definir con ello ninguna característica específica para el cultivo.

El análisis de las condiciones climáticas de las regiones donde se cultiva soja en el mundo, proporcionó las bases para determinar los parámetros agroclimáticos a utilizar en una clasificación. Las cifras del Cuadro 15.1 indicaban que dentro de los principales países productores de soja, EE.UU. con más de 16 millones de hectáreas cultivadas, representaba aproximadamente el 73% de la producción mundial y, junto con China Continental, dejaban al resto del mundo con sólo poco más del 8%. Esto sugirió que las condiciones ecológicas de ambas regiones resultaban las más adecuadas para la soja, y señalaba que el estudio agroclimático debía centrarse en investigar si tales combinaciones climáticas podrían encontrarse en la Argentina. El rendimiento medio por hectárea, indicaba que la soja se había identificado con el clima de la región de cultivo norteamericana, tal como ha sucedido con otras especies que, alejadas de su región de origen, se adaptaron plenamente a las condiciones de los nuevos lugares de implantación. Por este motivo, y por la mayor disponibilidad de información de todo tipo, el análisis comparativo se basó enteramente en el área sojera norteamericana.

La carta A de la Figura 15.1 muestra la producción real de soja en seco en los EE.UU. a comienzos de la segunda mitad del siglo pasado, mostrando que la planicie norteamericana del centro y el este era una región de abundante producción, con los rendimientos zonales que se aprécian en la carta B de la misma figura.

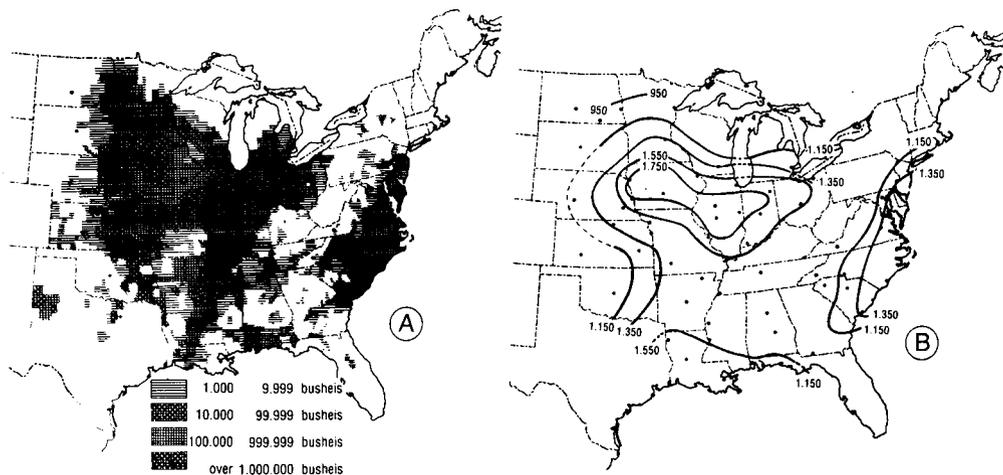


FIGURA 15.1. Región de cultivo de soja en seco en EE.UU. A) Producción por condados en 1961. B) Rendimientos regionales en kg/ha, promedio 1958/63.

La posibilidad de iniciar el cultivo de la soja en el territorio de la Argentina sobre bases científicamente sólidas, sólo comenzó a concretarse cuando se desarrolló la determinación de los tipos agroclimáticos, a partir de la investigación previa sobre las necesidades bioclimáticas de la especie.

La metodología de investigación adoptada para esta finalidad, fue igual a la utilizada para el trigo, aunque en el caso de la soja, la clasificación agroclimática se desarrolló en tres etapas con enfoques agroclimáticos distintos.

La primera o *macroagroclimática* publicada en 1969, se fundamenta en la determinación de los tipos agroclimáticos utilizando solamente valores normales de temperatura y fotoperíodo, y calculando las variaciones medias mensuales de la humedad edáfica por medio de un balance hidrológico climático. Esta clasificación utilizó valores climáticos del período 1931/60 y fue reeditada sobre la base de valores del período 1961/90, para examinar la modificación producido por las condiciones hidrológicas favorables debido al aumento ya mencionado de las precipitaciones durante este treinteaño.

La segunda clasificación o *mesoagroclimática*, desarrollada primeramente en 1977, aprovechó los mayores conocimientos obtenidos por el aumento creciente del cultivo de esta oleaginosa, y el conocimiento de las exigencias de los nuevos cultivares, así como la incorporación de nuevos métodos de interpretación agroclimática que, con el balance de agua meteorológico o seriado, permitieron analizar aspectos de la variabilidad interanual de las precipitaciones. En el año 1995 se introdujeron algunas modificaciones en el cómputo del balance hidrológico con los valores del período 1961/90, calificando la aptitud regional mediante el porcentaje de años con deficiencia de agua en el período crítico floración-fructificación.

Por fin, en la tercera clasificación o *agroecológica*, se analizó la aptitud regional para el cultivo, considerando no solamente las características agroclimáticas, sino también la calidad de los suelos en su capacidad para la producción de esta oleaginosa.

Puede usarse cualquiera de estas clasificaciones según la disposición de los valores climáticos necesarios o el interés de su aplicación a problemas concretos. La clasificación macroagroclimática fue recomendada por la Organización Mundial para la caracterización de regiones agroclimáticamente aptas para el cultivo de la soja (Mota⁽²⁾, 1978) y posteriormente, en el IV Congreso Mundial de Investigación en Soja de Buenos Aires, en 1989 se aplicó, a diferentes regiones actuales o potenciales de cultivo (Cuadro 15.10).

15.2 CLASIFICACIÓN POR TIPOS MACROAGROCLIMÁTICOS

El análisis de cada uno de los requerimientos bioclimáticos básicos de la soja exigió seleccionar índices bioclimáticos representativos, cuya aplicación en las diversas áreas mundiales de cultivo, establecieran los límites de magnitud dentro de los cuales fuera posible clasificar los "tipos de agroclimas" respectivos. Por ser una clasificación de carácter agroclimático, es decir, que califica las condiciones de áreas geográficas por su aptitud para el cultivo de la soja, cada rubro considerado, recibe la denominación de "regiones": térmi-

(2) Mota F.S. da. 1978. *Technical Note* N° 160. WMO N° 498. 64 p

ca, fotoperiódica e hídrica y, dentro de ellas, se jerarquizan los índices para diferenciar las "zonas" a las que se designan con las primeras letras del alfabeto, de la misma forma que fue presentada en la clasificación agroclimática para el trigo (Capítulo 14).

El conocimiento adquirido sobre las exigencias biometeorológicas de la soja a través de siete años de ensayos geográficos con siembras continuas, de 40 cultivares exóticos en 59 lugares del país, permitió emitir la primera recomendación varietal para la Argentina (Fig. 15.2, A y B).

A. Regiones térmicas

Como todo cultivo de verano, la soja requiere una determinada duración e intensidad de la termofase positiva anual. Las mejores zonas productoras en el mundo tienen una temperatura media entre 23 y 25 °C en el mes más caliente del año. En regiones de veranos muy cálidos donde las temperaturas diurnas pueden superar los 35 °C, se manifiesta un efecto depresor sobre el crecimiento de las plantas (Brown⁽³⁾, 1960; Spooner⁽⁴⁾, 1961). Por otra parte, temperaturas medias del mes más caliente entre 18 y 19 °C, parecen limitar el crecimiento de la soja al mínimo compatible con un cultivo económico. Zonas de cultivo del Hemisferio Norte donde se registran temperaturas similares a éstas, se encuentran en el límite del área sojera productiva. En años recientes, se han logrado cultivares muy precoces (grupos de maduración 000) que han permitido extender el cultivo de la soja hacia regiones más septentrionales (Canadá, Alemania, Polonia), donde las temperaturas del mes más cálido del verano son algo inferiores a las señaladas precedentemente.

Sobre la base de estas consideraciones, en esta clasificación se estableció la temperatura media normal de 20 °C como límite térmico mínimo en el mes más caliente del año. La región de la Argentina donde se cumple esta condición se ilustra en la Figura 15.6.

Estudios norteamericanos sobre la ecología de la soja (van Schalk y Probst, 1958⁽⁵⁾; Brown, 1960) produjeron las "Unidades de Desarrollo de la Soja" (SDU) en función de las temperaturas y el fotoperíodo involucrado (Fig.15.3A). Brown y Chapman (1960)⁽⁶⁾ aplicaron este índice en ensayos de campo y lo utilizaron como jerarquización de las temperaturas medias diarias durante el período vegetativo de la soja, a partir de los 15 °C por ser este el nivel térmico en el momento de siembra en la región de los Grandes Lagos. A pesar de que la temperatura base inicial de crecimiento de la soja es de 10 °C, es conveniente sembrarla a una temperatura más alta, lo cual permite iniciar un nacimiento y crecimiento vigoroso, y minimizar la competencia de las malezas. En los ensayos de siembras continuadas realizados en el campo experimental de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de Buenos Aires, nunca se produjeron nacimientos antes de que el aire alcanzara los 15 °C. Actualmente, la utilización de cultivares que pueden germinar a menor temperatura o los transgénicos que admiten el uso de herbicidas pre-emergentes de acción total contra las malezas (glifosato), y la siembra directa, reducen esta valoración térmica inicial del cultivo. Sin embargo, la índole comparativa regional de la clasificación permite continuar con la utilización de este nivel térmico. Se admite también, que la finalización del período vegetativo de la soja ocurre con similar temperatura media de 15 °C y que, según las regiones, coincide aproximadamente con la fecha de ocurrencia de heladas tempranas en el 20-25% de los años.

(3) Brown, D.M. 1960. *Agr. J.* 52: 483-496. - (4) Spooner, A.E. 1961. *Agr. Exp. Sta., Fayetteville. Bull.* 644, 27 p. -

(5) Van Schalk, P.H. and Probst. 1958. *Agr. J.* 50: 192-197. - (6) Brown, D.M. and Chapman, L.J. 1961. *Agr. J.* 52: 496-499.

Para indicar en forma cuantificada la necesidad bioclimática varietal o la aptitud agroclimática regional, resulta aceptable utilizar como índice térmico a la acumulación de las *SDU* durante el período con temperatura del aire $\geq 15^\circ\text{C}$. Como el valor de *SDU* no es de uso práctico, se estudió reemplazarlo por otro puramente climático, independiente de la necesidad bioclimática de la soja, pero que permitiera establecer comparaciones agroclimáticas de similar confiabilidad que las *SDU*. La sumatoria de temperaturas residuales sobre 15°C durante el período vegetativo, fácilmente calculable con la información de estadísticas climáticas corrientes, probó ser el reemplazo adecuado. La confrontación entre los valores calculados por ambos índices durante el bioperíodo de 15°C en numerosas localidades del Hemisferio Norte y de la Argentina y de Brasil (Fig. 15.3B) mostró correlaciones altas: 0,942 y 0,985, respectivamente. La diferente inclinación de la recta de regresión que muestra la figura para las localidades sudamericanas puede deberse, quizás, a la diferente tensión térmica diaria con que se inicia y finaliza el bioperíodo de 15°C en ambos Hemisferios y también, a la diferente duración de este bioperíodo en ambas situaciones.

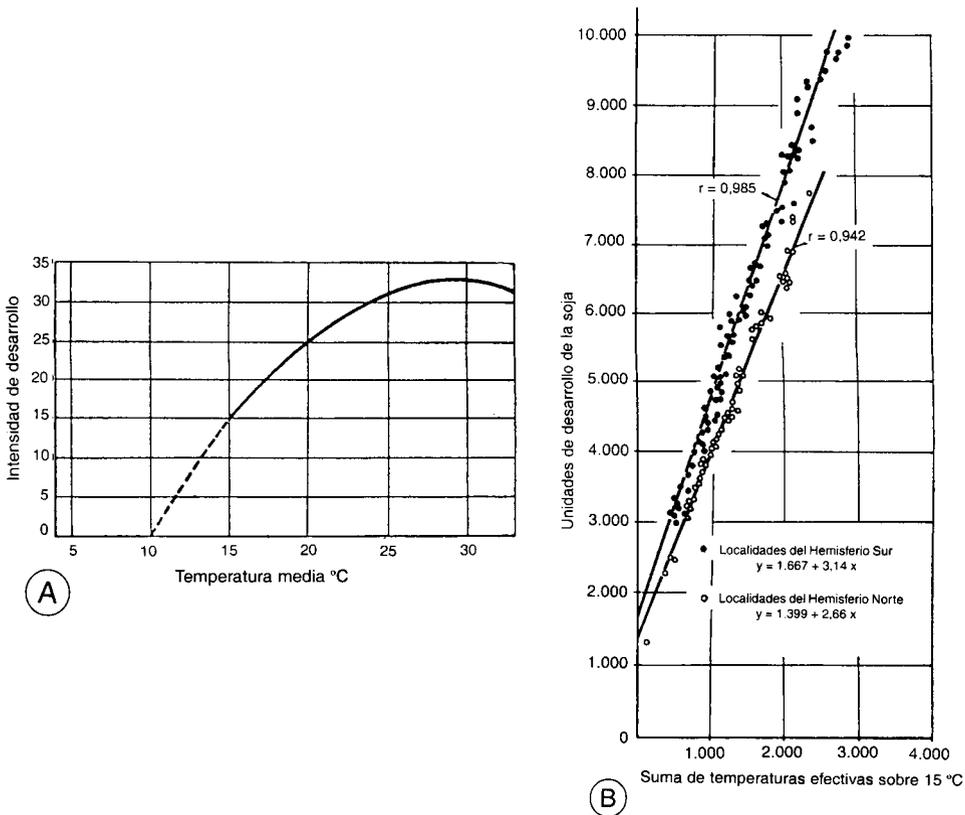


FIGURA 15.3. A) Relación promedio entre la temperatura y la velocidad de desarrollo de la soja. B) Correlación entre Unidades de Desarrollo y suma de temperaturas residuales sobre 15°C .

CUADRO 15.3. Regiones térmicas. Suma de temperaturas efectivas durante el período vegetativo de la soja.

Zonas	Índice Agroclimático		Tipo de Agroclima
	Suma de temperaturas ≥ 15 en el bioperíodo de 15 °C	Unidades de desarrollo °C (Brown 1960)	
A	<300 - 600	2.000 - 3.000	Muy frío
B	600 - 1.200	3.000 - 4.500	Templado frío
C	1.200 - 1.800	4.500 - 6.000	Templado
D	1.800 - 2.400	6.000 - 7.500	Templado cálido
E	> mayor de 2.400	más de 7.500	Cálido

El Cuadro 15.3 muestra el ordenamiento de las Regiones Térmicas, y la denominación de los tipos de agroclimas respectivos tomando como Índice Agroclimático a la suma de temperaturas efectivas sobre 15 °C durante el bioperíodo de 15 °C.

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, se obtienen rendimientos desde aceptables a muy buenos, siempre que el cultivo disponga de agua en cantidad adecuada. En las zonas B, C y D, deberán encontrarse los agroclimas térmicamente más adecuados.

B. Regiones hídricas

La libre disposición de agua en el suelo es fundamental para el cultivo de la soja. Durante su ciclo de cultivo, hay tres momentos que constituyen otros tantos períodos críticos para el agua. La reserva de agua en el suelo en primavera, cuando la temperatura del aire alcanza los 15 °C es importante, dado que la siembra debe efectuarse con buena humedad pues el nacimiento de la soja es un período hídrico crítico. La deficiencia de agua durante el comienzo del ciclo, afectará directamente la calidad y cantidad de producción, debido a la pérdida de plantas que obliga a la resiembra en casos extremos.

El segundo momento crítico para agua es la disponibilidad en el subperíodo de comienzo de fructificación hasta el peso máximo de las vainas, condición determinante del rendimiento final. Este aspecto es considerado in extenso en la clasificación meso-agroclimática.

Los excesos de agua en el suelo durante el período vegetativo pueden modificar el rendimiento final en forma variable. Cuando esos excesos ocurren acompañados de valores altos de evapotranspiración en suelos con buen drenaje, los rendimientos pueden ser buenos, como sucede en la región sojera de Brasil (estados de Río Grande y Paraná). En condiciones opuestas, es decir, en suelos poco permeables y poco ventilados, los rendimientos sufrirán disminuciones (Spooner, 1961), como sucedió en el año 1968

en los ensayos realizados en la provincia de Tucumán, los cuales mostraron claramente el efecto negativo de los excesos de agua. Un exceso de humedad antes de la cosecha, puede también ser perjudicial (tercer momento crítico para agua), especialmente cuando las temperaturas son superiores a los 15 °C, pues las plantas continúan vegetando, no se produce la defoliación, la semilla no termina de madurar y se favorece el desarrollo de enfermedades.

El análisis de los excesos de agua en áreas sojeras mundiales y de la Argentina, permitió considerar que, sobre suelos franco arcillosos bien preparados, excesos de hasta 100 milímetros, no causarían inconvenientes durante el período de cultivo.

Los balances hidrológicos climáticos correspondientes a localidades de EE.UU. indicaron que los 100 milímetros de deficiencia total de agua en el período vegetativo, coincide muy aceptablemente con el límite occidental del área de secano. Entonces, se utilizó ese valor para separar las zonas que pueden cultivarse en secano de las que necesariamente requieren irrigación, parcial o total. Obviamente, a deficiencias cada vez menores, corresponderán mejores rendimientos por mayor provisión de agua. En los EE.UU. de N.A., la región de mayores rendimientos tiene menos de 33 milímetros de deficiencia durante el período vegetativo.

Dentro de las regiones con condiciones térmicas favorables para el cultivo de la soja, existen diferentes regímenes pluviométricos que afectan de distinta manera las condiciones hídricas durante la estación de cultivo. En las áreas donde las precipitaciones invernales llevan la humedad de suelo a capacidad de campo durante uno o más meses, es decir con $ER = EP$, son de aplicación los índices agroclimáticos definidos precedentemente, o sea, la cantidad de milímetros de deficiencia de agua en el bioperíodo de 15 °C. En otras, en cambio, las precipitaciones anuales se concentran en el semestre cálido y el invierno sin lluvias produce ER nulas o de escaso valor. Para estas áreas de régimen pluviométrico monzónico, la clasificación por tipos agroclimáticos hídricos necesita otra consideración y la utilización de otro Índice hídrico para jerarquizar los agroclimas y calificar su aptitud para el cultivo. En este caso, el valor de la evapotranspiración relativa, (ER/EP) 100 puede indicar las condiciones de humedad durante el ciclo. La Figura 15.4 ilustra sobre las duraciones de estas etapas para una localidad en particular, donde ocurren:

- a. $(ER/EP).100 (< 50$ ó *período invernal seco (s's)*); en esta condición no es posible actividad agrícola alguna, aún existiendo condiciones térmicas favorables.
- b. $(ER/EP).100$ entre 50 y 75 ó *período seco - subhúmedo (sh)*, de iniciación de las tareas de preparación del suelo, la siembra y nacimiento.
- c. $(ER/EP).100$ entre 75 y 100 ó *período subhúmedo-húmedo (hH)*, el cultivo dispone de condiciones hídricas favorables que permiten un buen crecimiento vegetativo.
- d. $(ER/EP).100 = 100$ ó *período húmedo (HH')*, lapso anual con mayor disponibilidad hídrica, donde se produce la etapa de comienzo de fructificación y formación de granos. La duración y monto de los excesos de agua que pueden presentarse, son determinantes de la aptitud regional para el cultivo, pues duraciones de HH' prolongadas, con excesos de agua abundantes, por ejemplo, más de 120 días y más de 100 mm de exceso, són perjudiciales para el cumplimiento normal del ciclo vegetativo.

- e. $(ER/EP).100$ entre 100 y 75 ó (*período húmedo-subhúmedo (H'h')*), etapa de finalización del cultivo, amarilleo de las hojas y maduración, con humedad en decrecimiento para poder realizar la cosecha sin inconvenientes.

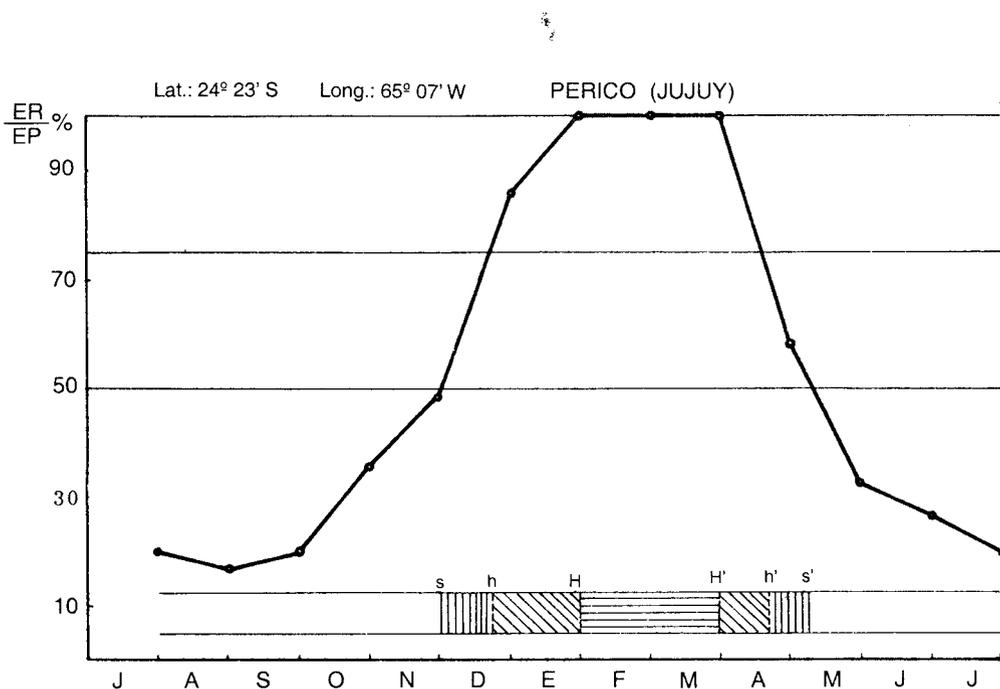


FIGURA 15.4. Forma en que se determinaron las fechas de iniciación de cada período de humedad.

En el Cuadro 15.4 se presentan las Regiones Hídricas y los índices utilizados para la caracterización de los tipos agroclimáticos de acuerdo a la magnitud de la relación ER/EP durante el período invernal.

Los agroclimas A'_1 y A'_2 , necesariamente deberán disponer de riego, en tanto que los E'_1 y E'_2 , según lo mencionado, serán agroclimas marginales o ineptos por excesos de agua. Los agroclimas subhúmedo-húmedos D' , se encuentran en las zonas sojeras de mejores rendimientos dentro del área no irrigada de los EE.UU. La creciente deficiencia de los C'_1 y B'_1 , corresponden a regiones de rendimientos cada vez más reducidos. Los agroclimas C'_2 y D'_2 son aptos hasta períodos HH' con ligeros excesos en el BHC , mientras que se hacen marginales o ineptos (E'_2) al igual que los E'_1 por abundantes excesos de agua.

CUADRO 15.4. Regiones hídricas del cultivo de la soja.

Índices agroclimáticos derivados del Balance Hidrológico Climático				
Evapotranspiración relativa invernal				
		ER/EP 100 \geq 100	ER/EP 100 \leq 100	
Tipo agroclimático	Deficiencia de agua en el bioperíodo anual de 15 °C (mm)	Zonas	Duración del subperíodo húmedo HH' (días)	Zonas
A' Muy seco	100 mm ó más	A'1	0	A'2
B' Seco	99 a 66	B'1	1-30	B'2
C' Subhúmedo seco	65 a 33	C'1	31-90	C'2
D' Subhúmedo húmedo	32 a 0	D'1	+ de 90 y hasta 100 mm de exceso de agua	D'2
E' húmedad	con exesos	E'1	+ de 90 y + de 100 mm de exceso	E'2

C. Regiones fotoperiódicas

Aunque la característica de la especie es la de ser una 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 debido a un nivel fotoperiódico elevado.

A mediados del siglo pasado se consideraba que un fotoperíodo mayor a las 16 horas 30 minutos, inhibía la floración de las sojas en cultivo y que, cuando la duración del día durante el solsticio de verano era ligeramente inferior a ese valor, los cultivares podían completar su desarrollo. Con posterioridad, fitogenéticamente, se obtuvieron cultivares del grupo de maduración 000, con gran indiferencia al fotoperíodo y un requerimiento calórico muy reducido, los que pueden incluirse en los agroclimas térmicos A.

En lugares en los que el fotoperíodo del mes más cálido es mayor que el umbral de desarrollo de un cultivar, las plantas florecen más tardíamente. Por tal motivo, en las latitudes bajas, los cultivares utilizados (grupos de maduración VII, VIII o mayor), son los que satisfacen mejor sus crecientes necesidades en días cortos.

Por otra parte, cuanto más exigentes son en fotoperíodos cortos, los cultivares tanto más lo son en sumas térmicas para completar el ciclo. Las tolerancias o exigencias fotoperiódicas y las necesidades calóricas 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 posible encontrar disponibilidades térmicas diferentes, lo cual hace imprescindible la realización de ensayos regionales con distintos cultivares, para saber la reacción bioclimática y su comportamiento agroclimático respectivo, en el que, obviamente, también influye el factor hídrico. Los resultados de estos ensayos permiten elaborar cartas de distribución varietal como los que los EE.UU. de N.A., publicaban anualmente, aconsejando los cultivares de mejor comportamiento zonal (American Soybean Association, 1964/69⁽⁷⁾).

Una primera aproximación de la ubicación de los grupos de maduración en la Argentina fue la correspondencia latitudinal con la región sojera norteamericana (Fig. 15.5). La adecuación regional acorde con las disponibilidades agroclimáticas del territorio argentino presentaron variantes, las que se señalarán posteriormente.

De acuerdo con la duración del ciclo vegetativo, como consecuencia de sus requerimientos fotoperiódicos y térmicos, los distintos cultivares de soja se han reunido en 12 grupos de precocidad decreciente, escala de 000 a X, siendo las sojas del grupo 000 de ciclo muy corto, y las del X muy largo. En cada lugar, cualquiera sea su

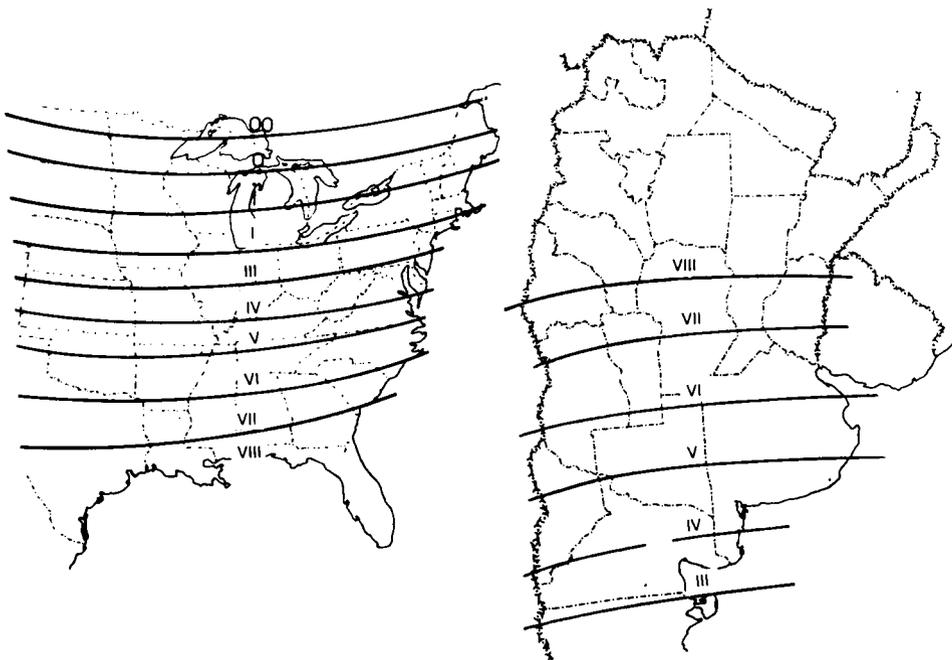


FIGURA 15.5. Consejo de siembra de cultivares de soja según precocidad para EE.UU. y su correspondencia latitudinal en la Argentina.

(7) American Soybean Association. 1964/69. Blue Book Issue.

grupo, la satisfacción de las necesidades biometeorológicas, no se refleja en comportamientos fenológicos tan diferentes. Así, en ensayos efectuados en Buenos Aires sólo se determinaron cuatro comportamientos: precoces (*P*), semiprecoces (*SP*), semitardíos (*ST*) y tardíos (*T*). En 9 campañas agrícolas (1958-59/1966-67), en la Facultad de Agronomía y Veterinaria se sembró en forma continuada una colección de cultivares de todos los grupos de maduración. Cada año se seleccionó el de mayor rendimiento y asignó el valor 100, ordenándose el resto según ese tope máximo. Para el estudio, se eligieron 28 cultivares con comportamiento similar y agruparon por precocidad (Cuadro 15.5).

CUADRO 15.5. Lista de cultivares ordenados por precocidad.

Cultivares precoces	Cultivares semiprecoces	Cultivares semitardías	Cultivares tardías
1- Capital	8- Hawkeye	15- Dorman	22- Halesoy 71
2- Comet	9- Ford	16- Hood	23- Bragg
3- Mandarin	10- Ross	17- Ogden	24- Bienville
4- Merit	11- Shelby	18- Hill	25- JEW 45
5- Hardome	12- Clark	19- Halesoy 321	26- CNS
6- Chipewa	13- Scott	20- Lee	27- Hardee
7- Harosoy 63	14- Bethel	21- Jackson	28- Improved Pelikan

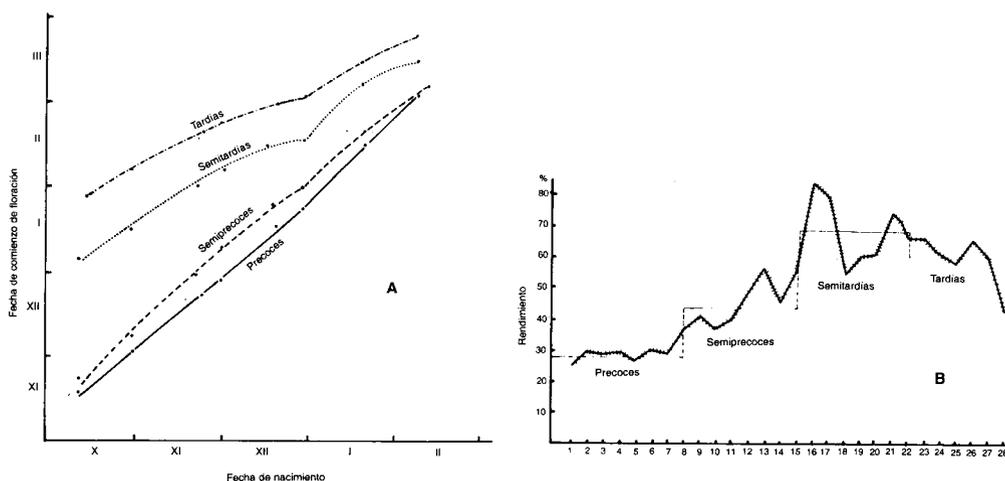


FIGURA 15.5 (bis). A) Fechas de floración promedio de las 9 campañas según el nacimiento entre los meses de octubre y febrero, B) Rendimientos porcentuales según precocidad (FAVBA, 1958-59/1966-67).

Como lo indica la Figura 15.5 bis (A y B) se han graficado los comportamientos fenológicos y los rendimientos relativos medios de cada uno de los cultivares del Cuadro 15.5. Los más adecuados al ambiente del experimento fueron los cultivares semiprecoces, con el 70% de los rendimientos promedio de los 7 cultivares en los períodos de siembra. Los precoces sólo alcanzaron poco menos del 30%.

La primera carta de comportamiento regional de cultivares de soja en la Argentina mencionada anteriormente, Figura 15.2 (B), fue el resultado de los ensayos conducidos por la Facultad de Agronomía y Veterinaria.

El Cuadro 15.6 presenta las regiones agroclimáticas de acuerdo con la reacción al fotoperíodo. Esta zonificación 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.

CUADRO 15.6. Regiones fotoperiódicas y tipos de agroclimas.

Zonas	Índice climático		Precocidad varietal	Tipo de agroclima (fotoperíodo)
	Fotoperíodo en el día del solsticio de verano	Área latitudinal del cultivo		
A"	más de 16 h 30'	más de 43°	Precoces	Muy largo
B"	15 h 30' - 16 h 30'	35° - 43°	Precoces semiprecoces	Largo
C"	14 h 30' - 15 h 30'	25° - 35°	Semiprecoces semitardías tardías	Mediano
D"	13 h 30' - 14 h 30'	10° - 25°	Semitardías tardías	Corto
E"	menos de 13 h 30'	10° N y S	Tardías	Muy corto

De acuerdo con la escala norteamericana, en el amplio rango latitudinal de cada zona, puede sembrarse cultivares de distinto grado de precocidad, especialmente por la interacción del fotoperíodo con el régimen térmico regional.

Además, cuando el período del año con temperaturas superiores a 15 °C es extenso, puede variarse la época de siembra utilizando cultivares con exigencias bioclimáticas distintas. Por lo tanto, en esta clasificación macroagroclimática es más adecuado considerar a las sojas en tipos generales de precocidad. A las zonas A", B", C", D" y E", corresponden en términos generales, los cultivares de ciclo vegetativo muy largo, largo, intermedio, corto y muy corto, respectivamente.

Como información adicional, la aplicación a diversas localidades sojeras mundiales de acuerdo con la clasificación macroagroclimática de 1969, determinó los agroclimas que se incluyen en el Cuadro 15.7.

CUADRO 15.7. Aplicación de la clasificación por tipos agroclimáticos entre localidades para el cultivo de la soja con sus índices agroclimáticos correspondientes.

Localidad	Latitud	Longitud	Altitud m	Duración del periodo vegetativo entre temp. sup. a 15 °C días	Régimen térmico			Régimen hidrológico		Régimen fotoperiódico	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 periodo vegetativo		
Pcia. R. S. Peña (Argentina)	26°47' S	60°28' O	90	365	27,9	9,566	2,51	338	125	SP-ST-T	E A' C'
Little Rock (EE.UU.)	34°45' N	92°16' O	109	208	27,2	5,857	1,653	276	51	SP-ST-T	C C' C'
Memphis (EE.UU.)	35°05' N	90°10' O		203	27,1	5,805	1,594	256	80	P-SP	C B' B'
Posadas (Argentina)	27°23' S	55°54' O	111	365	26,5	9,903	2,281	366	8	SP-ST-T	D D' C'
Cairo (EE.UU.)	36°50' N	89°10' O		183	26,4	4,57	1,386	252	81	P-SP	C B' B'
Badajoz (España)	34°54' N	6°58' O	183	195	25,8	5,146	1,301	32	315	SP-ST-T	C A' C'
Shenyang (China)	41°48' N	123°23' E	43	136	25,2	3,529	878	408	10	P-SP	B D' B'
Huicra Renancó (Argentina)	34°50' S	64°22' O	181	206	25,0	5,262	1,238	259	142	SP-ST-T	C A' C'
Esperanza (Argentina)	31°26' S	60°56' O	38	242	25,0	6,091	1,436	335	5	SP-ST-T	C D' C'
Sprigfield (EE.UU.)	39°50' N	89°40' O	194	158	24,7	4,992	1,006	255	36	P-SP	B B' B'
Tucumán (Argentina)	26°48' S	65°12' O	481	269	24,7	7,257	1,651	473	2	SP-ST-T	C D' C'
Des Moines (EE.UU.)	41°35' N	93°37' O	244	145	24,2	3,716	768	300	19	P-SP	B D' B'
R. de la Frontera (Argentina)	25°48' S	64°59' O		278	24,1	7,141	1,703	428	0	SP-ST-T	C D' C'
9 de Julio (Argentina)	35°27' S	60°53' O	76	198	24,1	4,901	1,071	254	21	P-SP	B D' B'
Londrina (Brasil)	23°23' S	51°10' O		365	23,9	9,052	2,006	591	0 (exc.)	ST-T	D E' D'
Pelotas (Brasil)	31°45' S	52°21' O		286	23,9	6,147	1,329	274	27	SP-ST-T	C D' C'
Pergamino (Argentina)	33°56' S	60°33' O	66	207	23,8	5,175	1,098	311	5	SP-ST-T	B D' C'
Bucarest (Rumania)	44°25' N	26°06' E	82	147	23,3	3,769	758	200	144	P	B A' A'
Saratov (Rusia)	61°23' N	46°03' E	60	118	22,8	2,933	601	109	210	P	B A' A'
Passo Fundo (Brasil)	28°20' S	52°35' O		242	22,1	5,569	1,095	391	0 (exc.)	SP-ST-T	B E' C'
Muitankiang (China)	44°35' N	129°36' E	24	100	22,0	2,408	498	310	33	P	A C' A'
Patagones (Argentina)	44°47' S	63°01' O'	40	175	22,0	4,026	760	90	311	P-SP	B A' B'
Blagoveschensk (Rusia)	50°15' N	127°31' E	142	95	21,7	2,289	450	310	54	P	A C' A'
Morden (Canadá)	49°11' N	98°06' O	300	96	20,8	2,259	366	215	56	P	A C' A'
Trelew (Argentina)	43°14' S	65°18' O	39	151	20,6	3,315	521	38	383	P	A A' A'
Guelph (Canadá)	43°32' N	80°15' O	330	105	20,2	2,325	376	231	22	P	A D' A'
Kamenets-Podolsk (Ucrania)	48°40' N	26°34' E	249	113	19,4	2,351	353	225	23	P	A D' A'
Burgos(España)	42°20' N	3°42' O	861	101	18,9	2,038	268	92	78	P	A B' C'
Frankfurt am Main (Alemania)	50°07' N	8°40' E	102	114	18,6	2,224	278	201	54	P	A C' C'

P: precoz; SP: semiprecoz; ST: semitardío; T: tardío

15.3 TIPOS MACROAGROCLIMÁTICOS DE LA SOJA EN LA ARGENTINA

La aplicación de la clasificación macroagroclimática del cultivo de soja a los valores térmicos, hídricos y fotoperiódicos del territorio de la Argentina, permitieron establecer la ubicación geográfica y la extensión de los tipos de agroclimas correspondientes a cada aspecto bioclimático.

La Figura 15.6 muestra, en forma general, la división del territorio con disponibilidad térmica adecuada (mes más caliente $>20\text{ }^{\circ}\text{C}$) para el desarrollo del cultivo de la soja, y dentro de ella, las dos subregiones donde el cultivo puede hacerse en secano, por disponer en el período de cultivo de deficiencias hídricas menores a los 100 mm, o período $HH = 0$ días. Estas dos subregiones, orográficamente diferenciadas, son la oriental, mayormente llana y de gran extensión territorial, y la noroccidental, de superficie mucho más reducida y con altitudes hasta 1.500 metros de altura.

A. Subregión oriental

La subregión Oriental puede dividirse en dos partes, la Nororiental, formada por las provincias de Chaco, Corrientes, Misiones y Formosa, y la Pampeana donde se agrupan las de, Santa Fe, Córdoba y Buenos Aires (las tres donde se registra la mayor producción), Entre Ríos, La Pampa y San Luis.

La subregión Noroccidental se forma con las provincias de Salta, Tucumán y Santiago del Estero y algo de las de Catamarca y Jujuy.

Las cartas de la Figura 15.7 demuestran claramente las excelentes disponibilidades calóricas de la parte norte del país, mayores que las de las zonas más calientes del área sojera norteamericana. Influye en esta ventaja, la característica climática de esta parte del Hemisferio Sur, que determina un período más dilatado de acumulación de temperaturas efectivas sobre $15\text{ }^{\circ}\text{C}$, que en la parte septentrional de la Argentina se extiende prácticamente a todo el año. Esto confirma lo dicho en el sentido de que la limitación para el cultivo en secano de la soja, obedece a la disponibilidad de agua durante el período vegetativo y no a la falta de calor estival, ya que dentro del área sojera térmicamente favorable, la deficiencia hídrica es la que fija el límite de cultivo sin riego. En la parte patagónica de la región, existen zonas con más de 300 grados de suma de temperaturas efectivas mayores a $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ donde, con períodos vegetativos mayores a 100 días y con riego, podrían prosperar cultivos de soja. Por esta razón, en la subregión noroccidental, la fecha de siembra la fija la humedad de suelo disponible o la interacción del fotoperíodo con las sumas térmicas.

En la subregión oriental, el gradiente de humedad disminuye de NE a SW, pudiendo considerársela como una continuación de la región sojera brasileña, con una disminución de la aptitud favorable para el cultivo en igual sentido, por el aumento de la deficiencia de humedad de suelo durante el verano. Esto lo ejemplifica la Figura 15.8 (B) donde se ha trazado el desplazamiento hacia occidente de la isolínea de deficiencias ≤ 100 mm, consecuencia del aumento de las precipitaciones estivales en el último treintenio del siglo pasado. De acuerdo con los tipos agroclimáticos existentes en su dilatada extensión latitudinal, se puede sembrar cultivares de ciclo largo hasta corto. Desde el

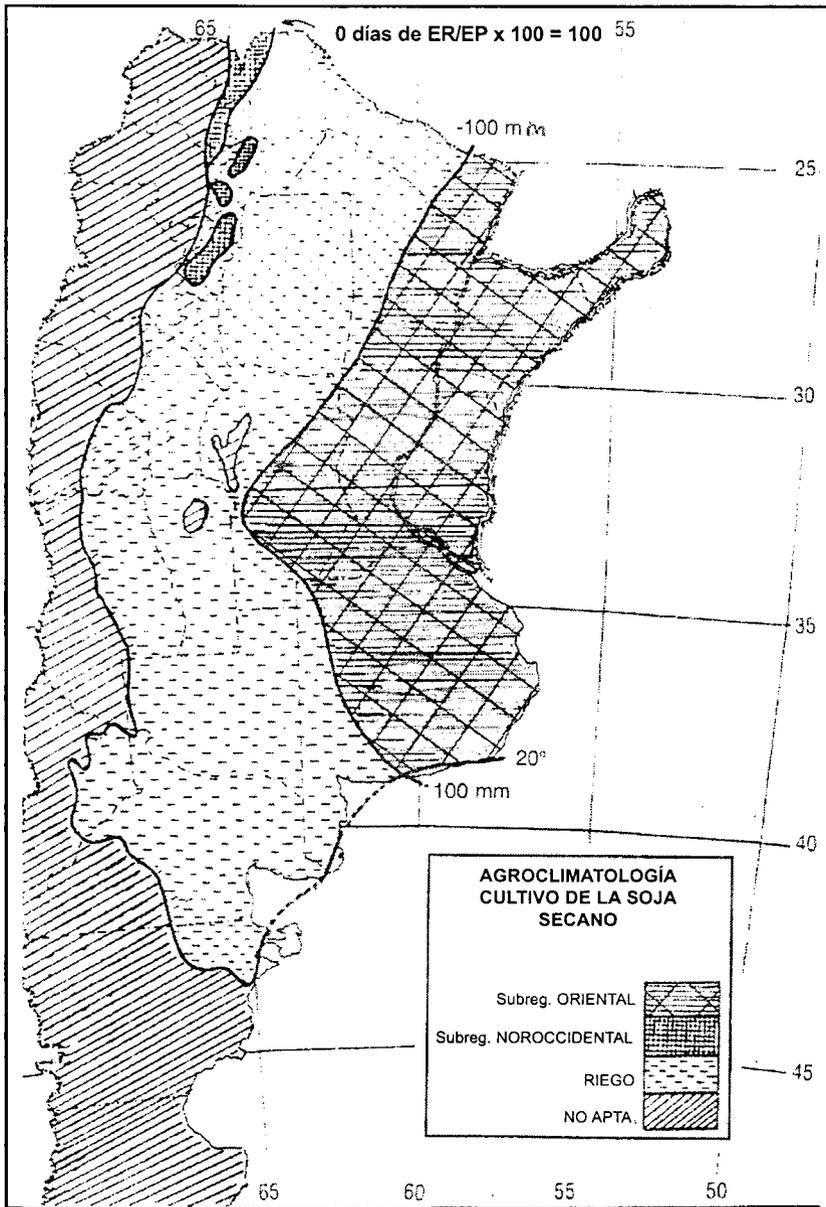


FIGURA 15.6. Regionalización del cultivo de la soja en la Argentina.

centro de la Región Pampeana hacia el sur, habrá que elegir tipos que completen su ciclo en forma definida para fines de verano pues, con ciclo largo, la maduración coincidiría con el otoño normalmente húmedo y aún con temperaturas favorables para el crecimiento, condiciones éstas inadecuadas en la etapa final del cultivo.

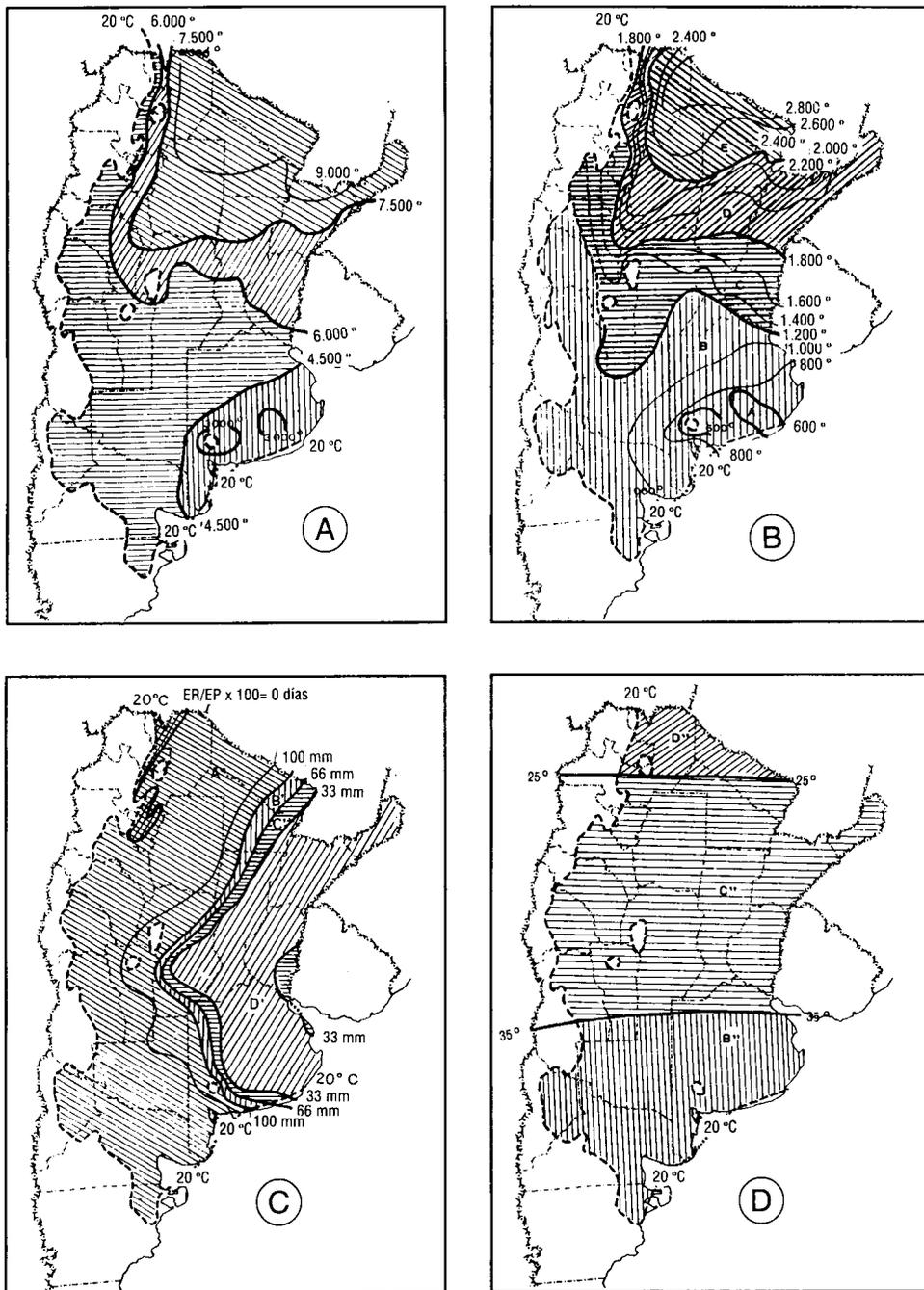


FIGURA 15.7. Regiones térmicas, hídricas y fotoperiódicas, según la clasificación por tipos macroagroclimáticos (1969). A. Unidades de desarrollo de la soja. (B) Suma de temperaturas ≥ 15 °C en el bioperíodo de 15 °C. (C) Milímetros de deficiencia en el BHC en el bioperíodo de 15 °C o número de días $ER/EP \cdot 100 = 100$, según las subregiones. (D) Zonificación por franjas latitudinales.

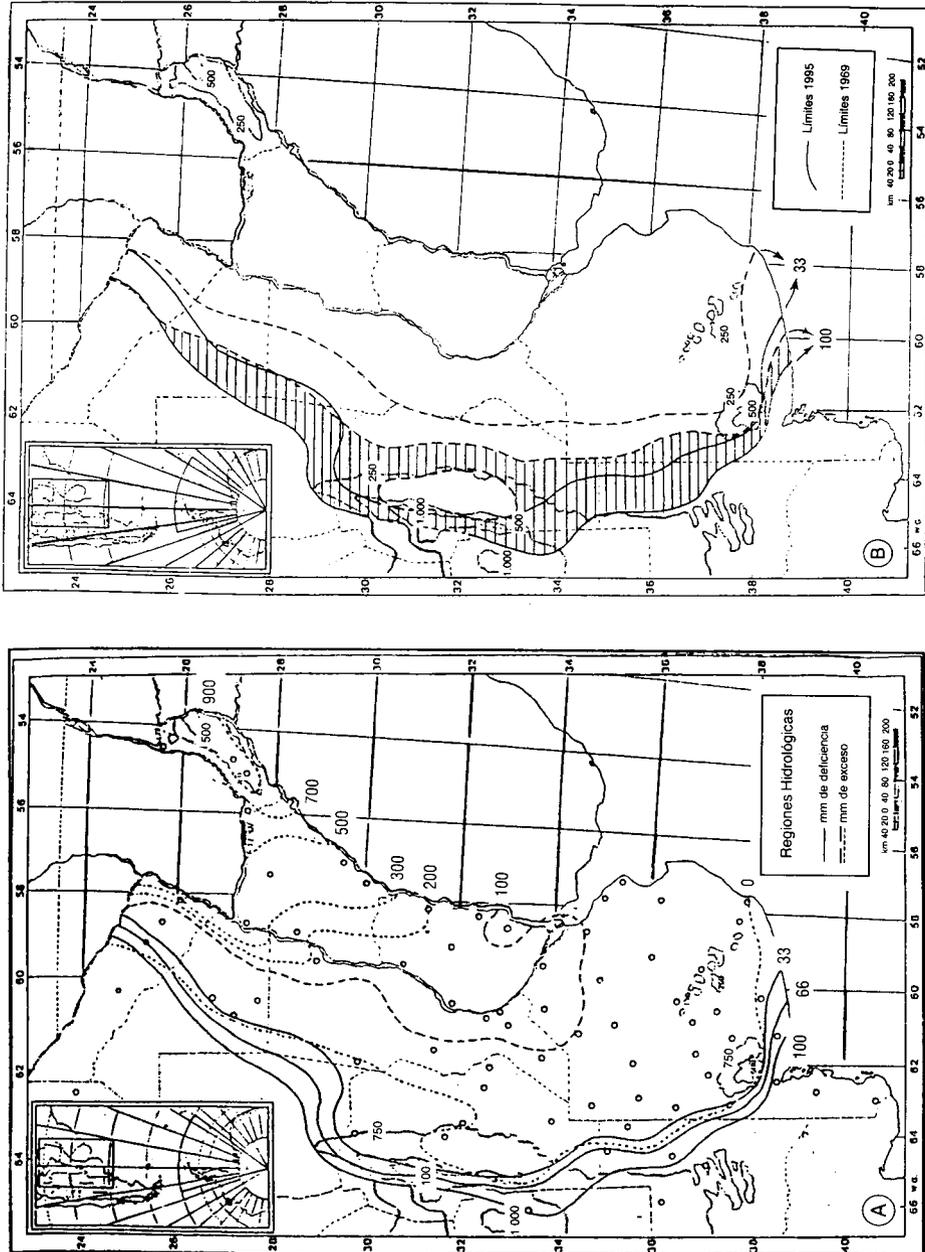


FIGURA 15.8. (A) Regiones hídricas de la zonificación macroclimática de la subregión oriental (1995). (B) Aumento de la superficie de siembra en seco con respecto a la zonificación de 1969.

La comparación de los tipos agroclimáticos térmicos de esta subregión oriental con los de los EE.UU., permite comprobar que mientras en el país del norte los tipos A ocupan una superficie muy amplia, en la Argentina quedan reducidos a una pequeña área en el sudeste de la provincia de Buenos Aires y, por lo contrario, la zona E, de amplio cubrimiento local no se encuentra presente en el territorio sojero norteamericano. Estas diferencias no son importantes ya que, para cada zona, pueden utilizarse cultivares que satisfacen sus exigencias térmicas de acuerdo con las disponibilidades ambientales.

En lo que se refiere al aspecto hídrico, los resultados de los balances hidrológicos computados con los valores climáticos de los dos períodos analizados, a saber, 1931/60 y 1961/90, refleja claramente en la Figura 15.8 (A) como el aumento de las precipitaciones en el segundo período, y el consiguiente aumento de la disponibilidad de agua edáfica, determinó el desplazamiento hacia occidente del límite de la región de cultivo en secano, y la aparición de excesos de agua importantes en las áreas más orientales. La superficie que aparece rayada en la carta (B) indica como se amplió la subregión por el criterio valorativo de la disponibilidad de agua. En el noroeste del país se amplió también la región de secano pero, en este caso, se corrió hacia el este la isolínea de 0 días de $ER/EP \cdot 100 = 100$. Obviamente, para el desarrollo permanente del cultivo de soja en estas nuevas áreas, deben considerarse otros aspectos relevantes, aparte de los climáticos, como el tipo de suelo, la aptitud para otros cultivos o destinos agropecuarios y, fundamentalmente, el riesgo de que la variabilidad de las precipitaciones pueda transformar una condición hídrica favorable en una fluctuación temporaria del régimen de humedad, y no una tendencia permanente.

Lo anterior es otro ejemplo de que la zonificación agroclimática de un cultivo no es estática sino que, como ya se expresara, puede variar la superficie geográfica de los distintos agroclimas. En este caso, porque la serie climática analizada posteriormente presentó un régimen pluviométrico con humedad más favorable para el cultivo (Fig. 15.8).

En la Figura 15.9 (A y B) se reproducen las cartas de tipos agroclimáticos de EE.UU. y la Argentina de la clasificación de 1969 y la Figura 15.10 (A) los tipos actuales para la subregión oriental de la Argentina según las adecuaciones de 1995 y, en la Figura 15.10 (B), los GM adaptados en las franjas latitudinales en la Argentina (INTA, 1997) que, como se compueba, tienen una distribución diferente a la señalada originalmente en la Figura 15.5, acorde con la distinta disponibilidad fototérmica del territorio argentino respecto del norteamericano, lo cual hace variar la correspondencia geográfica en la recomendación de los cultivares. Se justifican así las regiones fotoperiódicas según grado de precocidad (Cuadro 15.6).

B. Subregión noroccidental

La subregión noroccidental es una estrecha franja, cuyo límite oriental la fija la duración del período HH' durante el período estival y, el límite occidental, la falta de disponibilidad calórica adecuada por influencia de la disminución térmica debido a la altitud. El gradiente de disminución de la temperatura de este a oeste es muy gran-

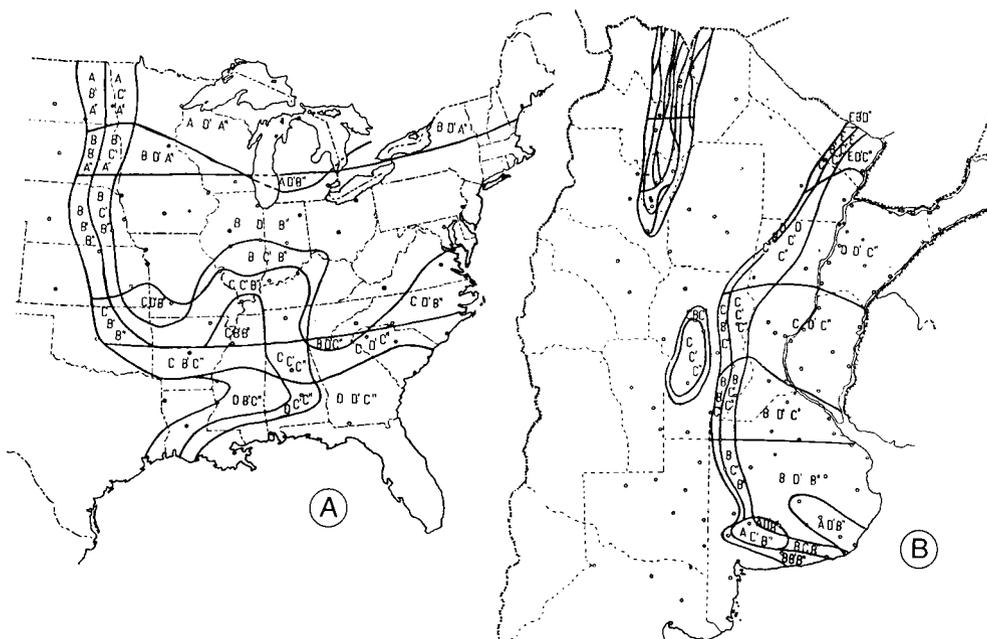


FIGURA 15.9. A y B Tipos agroclimáticos para el cultivo de soja en EE.UU. y en la Argentina (Clasificación 1969).

de, lo que hace que en pocos kilómetros se pase de los 2.400 °C a 1.200 °C de sumas térmicas y, en igual sentido, de 500 a 1.000 mm de precipitaciones. En forma muy aproximada, 1.500 metros de altitud marcó el límite del área sojera con temperatura media ≥ 20 °C en el mes más caluroso del año.

El régimen monzónico de precipitaciones generados por los vientos húmedos que durante la estación cálida producen lluvias orográficas en esta región, permite el cultivo en secano de una serie de cultivos, entre ellos la soja.

El cultivo de soja es tradicional en la provincia de Tucumán, es de más reciente desarrollo en la de Salta y muy reducida en la de Jujuy. El cambio climático del último treinteaño del siglo pasado, incorporó al cultivo de soja la franja de la provincia de Santiago del Estero lindante con la de Tucumán, y a algunos valles de Catamarca. De cualquier forma, la producción de esta oleaginosa en esta subregión es reducida, alrededor del 5% con respecto al total del país.

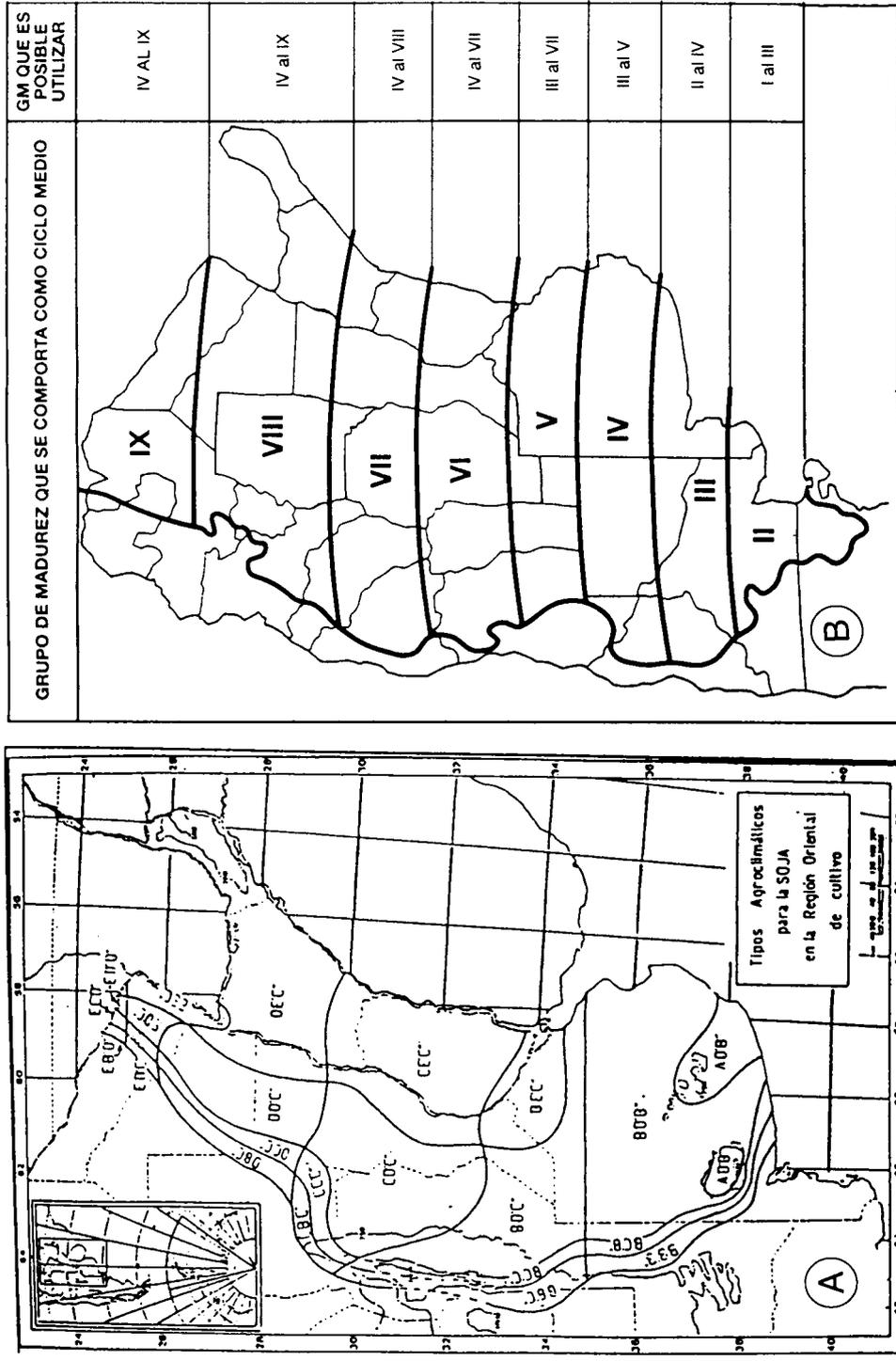


FIGURA 15.10. A. Tipos macroagrocimáticos de la subregión oriental (1995). B. Franjas latitudinales de los GM de la soja en la Argentina según INTA, (1997).

Dada su condición orográfica, la caracterización agroclimática de esta región requiere un tratamiento especial. La subregión oriental es una superficie prácticamente llana y sus tipos agroclimáticos resultan geográficamente extendidos, como consecuencia de los suaves gradientes horizontales de la temperatura y de la humedad. En la noroccidental, en cambio, el relieve accidentado origina tipos diferentes en superficies reducidas, por la brusca variación térmica a consecuencia de las diferencias de altitud y exposición. La fuerte orografía original influye también en la irregular distribución espacial de las precipitaciones (Bianchi y Yañez, 1992).

En la subregión del noroeste la duración en días del período de humedad útil para el cultivo, $hHH'h'$, varía mucho geográficamente debido a las grandes variaciones térmicas y pluviométricas. Asimismo, sufren gran variación las sumas de temperaturas efectivas sobre 15 °C acumuladas durante ese período húmedo. Las duraciones de los ciclos vegetativos que en ensayos experimentales regionales (Hemsey, 1970; Piquin, 1970) tuvieron los mejores rendimientos, correspondieron a los grupos de maduración que se indican en el cuadro 15.8.

CUADRO 15.8. Número medio de días del ciclo vegetativo (siembra-cosecha) para el cultivo de la soja en la región noroccidental de la Argentina.

Tucumán (latitud- 27° S)			Salta (latitud- 25° S)		
Grupo			Grupo		
VI	VII	VIII	VI	VII	VIII
120	125	130	110	115	120

Actualmente, se están sembrando grupos de soja más precoces, del IV y del V, debido a variantes en la tecnología agronómica, pero esta consideración no invalida como criterio normal el lapso de 120 días con humedad $hHH'h'$ para el período vegetativo del cultivo, dentro del cual, la aptitud regional está definida por el subperíodo HH' , considerado en el estudio de 1973 como índice hídrico del BHC , indicativo de la posible expansión cultural en el subregión noroccidental. Este índice modifica el utilizado en la subregión oriental (milímetros de deficiencia de agua en el bioperíodo de 15 °C) dado que, en este caso, el régimen pluviométrico monzónico, con lluvias concentradas en los meses estivales coinciden con el período vegetativo de la soja.

Como el BHC sólo computa la situación hídrica al final de cada mes, si la relación $ER/EP \times 100$ no llega a 100, significa que no registra un lapso mensual con HH' , por lo tanto, el sitio es inepto para el cultivo por insuficiencia hídrica. En el otro extremo, la ineptitud se alcanza cuando existen más de tres meses con HH' y excesos de agua abundantes en el balance.

En el Cuadro 15.9 se presentan las regiones térmicas e hídricas, así como las características macroagroclimáticas de sus zonas.

CUADRO 15.9. Tipos agroclimáticos en la subregión noroccidental y aptitud para el cultivo de la soja en seco.

A- Agroclimas térmicos

Zonas	Temperatura efectiva sobre 15 °C	Días de período húmedo HH' (ER/EP) 100 = 100	Tipo agroclimático	Aptitud
A ₁	<650	0	Muy frío	Ineptos
B ₁		1-30	Templado-frío	
C ₁	650-850	31-90	Templado	Aptos
D ₁	850-1.050	1-30	Templado cálido	
		31-90		
		+ de 90		Marginal
E ₁	>1.050	+ de 90	Cálido	Marginal a inepto

B- Agroclimas hídricos

Zonas	Días de período húmedo HH' (ER/EP) 100 = 100	Tipo agroclimático	Aptitud
A' ₂	0	Muy seco	Inepto
B' ₂	1-30	Seco	Marginal
C' ₂	31-60	Sub-húmedo seco	Aptos
D' ₂	61-90	Sub-húmedo húmedo	
E' ₂	+ de 90	Húmedo	Marginal a inepto

Las regiones y zonas térmicas e hídricas del cuadro, generadas en el régimen de precipitación monzónica, merecen un comentario. Por la concentración de la disponibilidad hídrica en los meses estivales, la acumulación de temperaturas efectivas para el cultivo de soja se produce de acuerdo con la duración del período húmedo; de allí que la zona B₁ "templada fría" disponga menos de 650 °C, y la E₁ sea la más "cálida", con poco más de 1.050 °C. En la región no existen zonas A₁ pues no se consideran aptas para soja en seco períodos húmedos-subhúmedos con duraciones menores de 120 días o sin períodos H-H'.

Debe concluirse que en la subregión noroccidental, las regiones térmicas están limitadas por la disponibilidad de agua que reduce el aprovechamiento del régimen térmico favorable, el cual magnifica la importancia de la humedad edáfica. Con la utilización del BHS en la clasificación mesoagroclimática se hace evidente la consideración de la humedad como factor decisivo en la clasificación de los agroclimas sojeros.

En el régimen de humedad, quizás no exista una equivalencia entre zonas isohigras y monzónicas correspondientes, pues, la zona B' con 99 a 66 mm de deficiencias en el período vegetativo, posiblemente sea menos riesgosa para el cultivo en secano que la B'_1 con 1 a 30 días de período $H-H'$, ya que los agroclimas "secos" resultantes para esta última deben considerarse de marginales a ineptos, mientras que para la subregión oriental sólo se las clasifican como marginales.

En la Figura 15.11, la región a occidente de la isohipsa de 1.500 m es térmicamente inepta porque la temperatura media del mes más caliente del año es inferior a 20 °C, mientras que hacia oriente se señalan áreas con limitantes hídricas según probabilidades de ocurrencia de 120 días con subperíodo húmedo subhúmedo ($hHH'h'$). En la Figura 15.12 la reducida distancia de las isolíneas de 100 y 120 días, y el pronunciado gradiente térmico de este a oeste, son ejemplos de la cantidad de tipos agroclimáticos de superficie reducida, generados por la variación altimétrica.

Las regiones fotoperiódicas son las señaladas por ubicación de la situación geográfica latitudinal, con las variaciones en el tipo de cultivares a sembrar que se mencionaron anteriormente, acordes con los avances de la tecnología agrícola para el cultivo, sea en esta subregión como en la pampeana.

Finalmente, en la Figura 15.13 se representa cartográficamente la zonificación termohídrica, según las regiones macrocomputadas en 1973. Si bien la superficie apta para el cultivo es actualmente diferente por el aumento de las precipitaciones en el último treinteno del siglo pasado, no alcanza para mostrar su aumento en la escala presentada, aspecto que se considerará en la clasificación mesoagroclimática y en la ecológica.

Con motivo del IV Congreso Mundial de Investigación en Soja realizado en Buenos Aires en 1989, se efectuó una encuesta mundial sobre las condiciones agroclimáticas de las áreas donde el cultivo estaba definitivamente implantado o en experimentación. En el Cuadro 15.10A se han incluido los tipos agroclimáticos que agrupa las regiones térmicas, hídricas y fotoperiódicas desarrolladas precedentemente y en la Figura 15.10 los de 41 sitios del total de 103 que contiene el estudio. Puede observarse que según la clasificación macroclimática, motivo de este capítulo, pueden tipificarse todas las regiones térmicas, hídricas y fotoperiódicas de las áreas de cultivo posible.

15.4 TIPOS MESOAGROCLIMÁTICOS PARA EL CULTIVO DE LA SOJA EN LA ARGENTINA Y CRITERIOS DE APTITUD REGIONAL

La utilización de valores climáticos normales para la determinación de las regiones térmicas, hídricas y fotoperiódicas de los tipos macroagroclimáticos de soja, sólo permite una clasificación por aptitud regional cubriendo superficies geográficas amplias. La creciente y sostenida importancia adquirida por el cultivo en la Argentina mereció una zonificación que considerara, dentro de los límites agroclimáticos normales, la variabilidad anual de los componentes climáticos que caracterizan las regiones. De

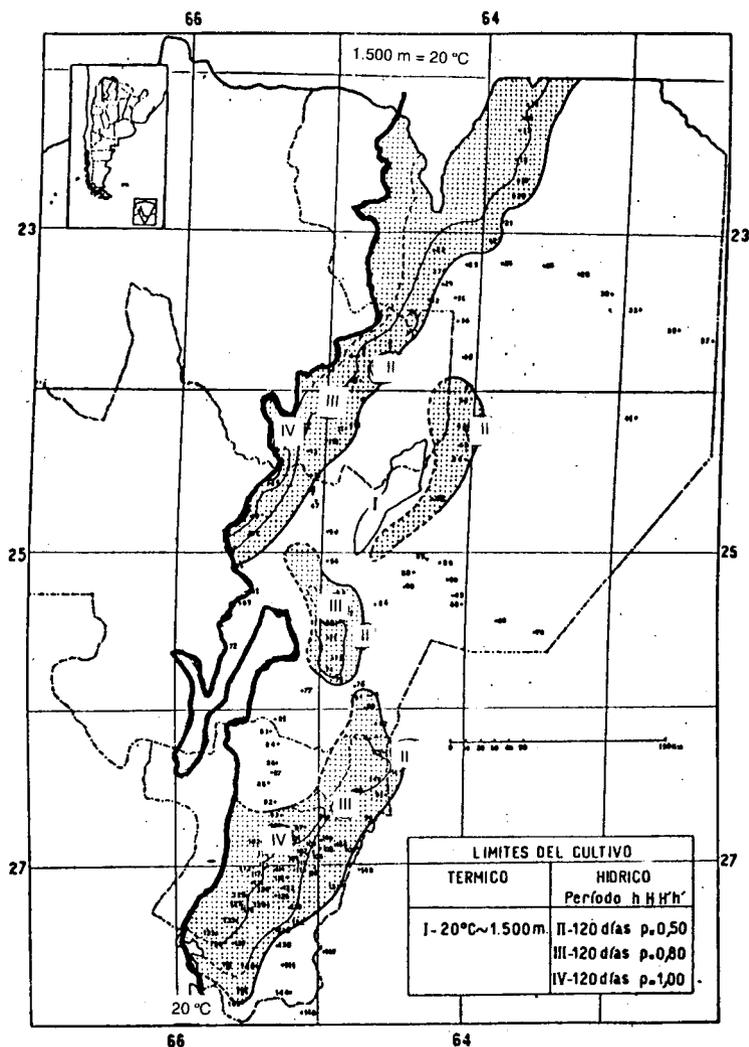


FIGURA 15.11. Región noroccidental argentina apta para el cultivo de la soja.

tal forma se pasó de una clasificación macroclimática a una mesoagroclimática, que permite hacer una zonificación más detallada por subdivisión de las macrozonas.

La variación anual en las regiones fotoperiódicas resulta poco relevante por la invariabilidad propia del fotoperíodo y en las térmicas, las variaciones anuales en las temperaturas medias mensuales son de escasa magnitud. En cambio, la gran variabilidad interanual de las precipitaciones mensuales determina oscilaciones significativas en las disponibilidades de agua, reflejadas por el balance de agua durante el período vegetativo. Esta variabilidad puede cuantificarse computando el balance hidrológico seriado (*BHS*). Como en la clasificación anterior, los resultados de aplicar el *BHS* a cada subregión será considerado en forma separada.

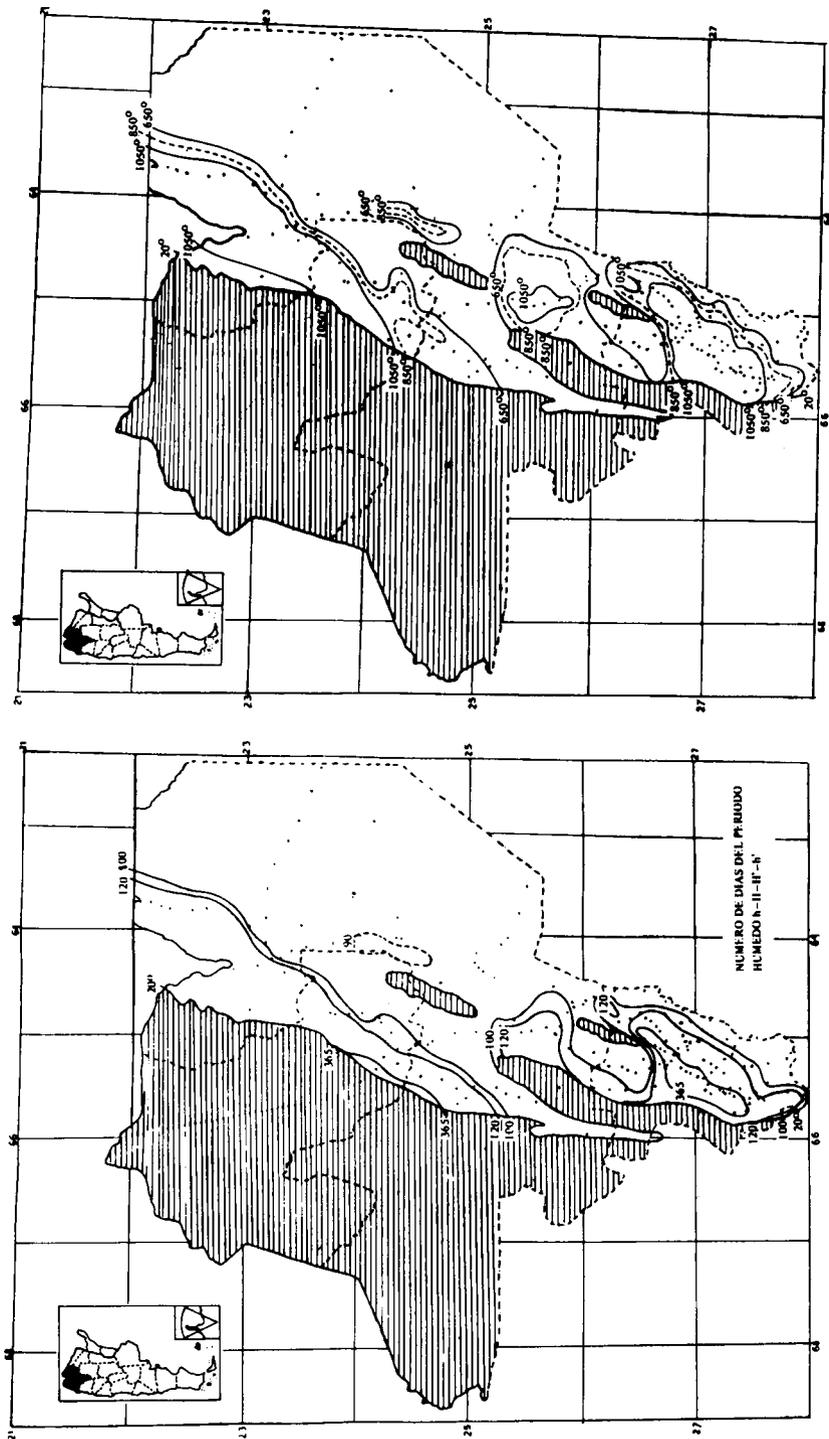


FIGURA 15.12. Número de días y suma de temperaturas sobre 15 °C durante el periodo hHH'h.

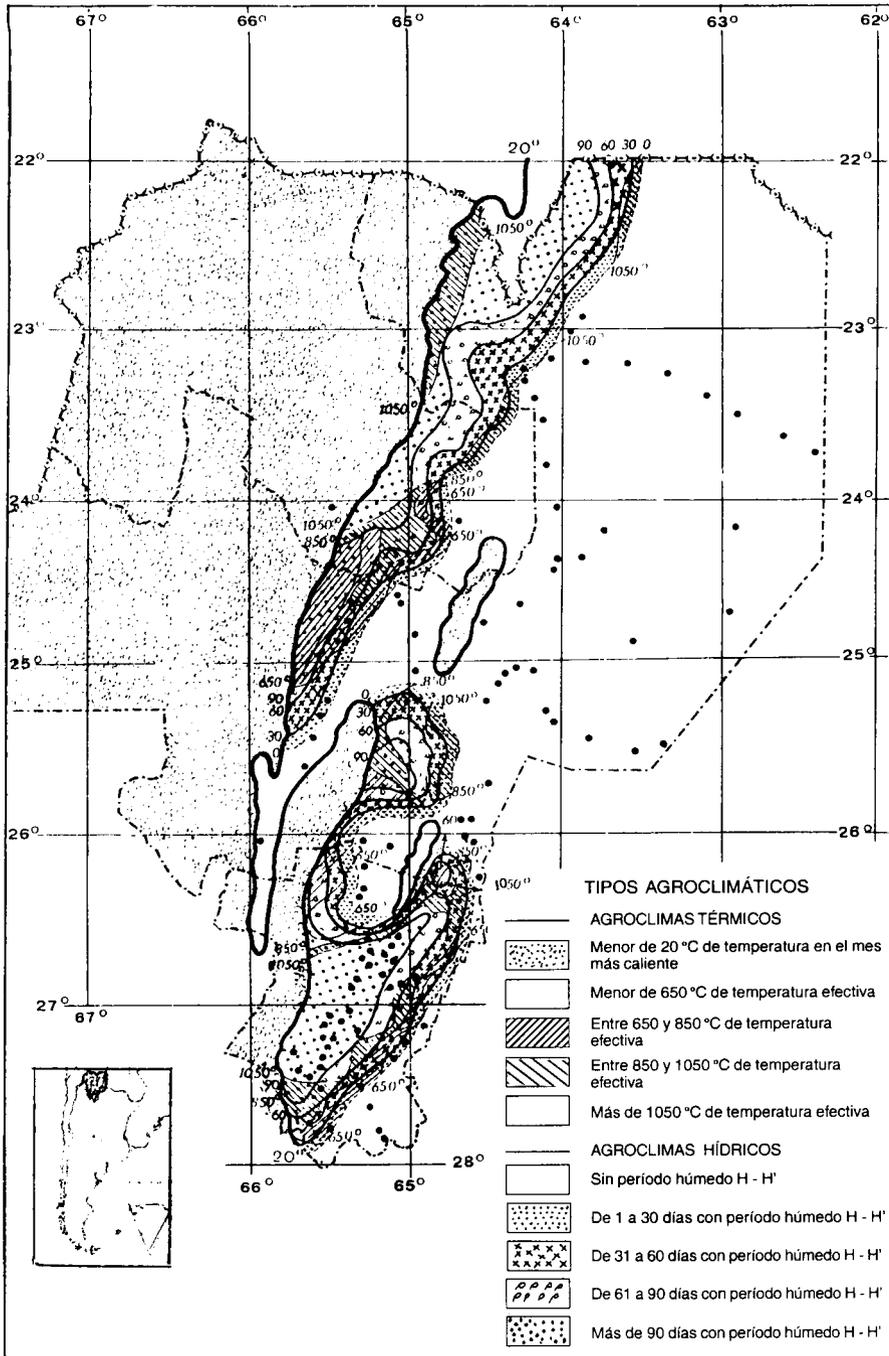


FIGURA 15.13 . Zonificación termohidrológica de la subregión noroccidental (los puntos en la figura corresponden a la ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas y pluviométricas utilizadas en los cómputos).

CUADRO 15.10A. Tipos macroagroclicmáticos para el cultivo de soja.

1. REGIONES TÉRMICAS - Eficiencia de la temperatura durante el bioperíodo de 15 °C

Régimen de humedad				
Z O N A S	1a. ER/EPx100 <100	Z O N A S	1b. ER/EPx100 = 100 (+ exceso de agua)	Tipo Agroclimático (Temperatura efectiva)
	Indice Agroclimático Suma de temperaturas sobre 15 °C (°C)		Indice Agroclimático Suma de temperaturas sobre 15 °C cuan- do ER/EPx100 > 75	
A	< 600	A ₁	< 450	muy frío
B	601 - 1.200	B ₁	451 - 651	templado - frío
C	1.201 - 1.800	C ₁	651 - 850	templado
D	1.801 - 2.400	D ₁	851 - 1.050	templado - caliente
E	> 2.400	E ₁	> 1.050	caliente

2. REGIONES HÍDRICAS - Humedad del suelo durante el bioperíodo de 15 °C

Z O N A S	2a. ER/EPx100 ≤100	Z O N A S	2b. ER/EPx100 = 100 (+ exceso de agua)	Tipo Agroclimático (Humedad)
	Indice Agroclimático Deficiencia en agua del suelo (mm)		Indice Agroclimático Número de días con ER/EPx100 = 100	
A'	> 100	A' ₁	0	muy seco
B'	99 - 66	B' ₁	1 - 30	seco
C'	65 - 33	C' ₁	31 - 60	subhúmedo - seco
D'	32 - 0	D' ₁	61 - 90	subhúmedo - húmedo
E'	con pequeño exceso	E' ₁	> 90	húmedo

3. REGIONES FOTOPERIÓDICOS - Fotoperíodo en el mes más caluroso del año

Z O N A S	Indice Agroclimático Fotoperíodo durante el solsticio de verano (h y m)	Rango latitudinal de cultivo	Grupo de maduración	Tipo Agroclimático (Fotoperíodo)
A''	> 16:30	> 43°	000 - I	muy largo
B''	15:30 - 16:30	36° - 43°	0 - IV	largo
C''	14:30 - 15:30	26° - 35°	V - VIII	intermedio
D''	13:30 - 14:30	11° - 25°	VII - IX	corto
E''	< 13:30	entre 10° N y 10° S	IX →	muy corto

CUADRO 15.10B. Clasificación macroagroclimática para diferentes regiones del mundo.

N°	Localidad y país	Latitud (grados y minutos)	Longitud (grados y minutos)	Altitud (m)	Bioperíodo (15°)	Características Agroclimáticas										Tipo Agroclimático	
						Período vegetativo		Período de cultivo			Regímen Humedad del suelo (#)	Fotoperíodo					
						3	4	5	6	7							
1	Njoro, Kenya	00° 20' S	35° 56' E	2.185	273	559	Abr	Ago	17,1	273	7	8	9	10	IX →	A ₁ E ₁ E ^o	
2	Stuttgart, Alemania	49° 50' N	09° 12' E	407	80	233	May	Sep	17,6	233		-7			000 - II	A D A ^o	
3	Radzikow, Polonia	52° 13' N	20° 38' E	90	97	276	May	Sep	18,1	276		-37			000 - II	A C A ^o	
5	Ermelo, Sudáfrica	26° 31' S	29° 57' W	1.698	195	514	Nov	Mar	18,8	459			150 (+39)		V - VIII	B ₁ E ₁ C ^o	
7	Halal, China	49° 13' N	119° 45' E	612	90	274	May	Sep	19,6	274		-111			000 - II	A A A ^o	
10	Harrow, Canadá	42° 03' N	82° 56' W	s/d	129	654	May	Sep	19,9	648		-36			0 - V	B C B ^o	
13	Lyon Satolas, Francia	44° 44' N	05° 05' E	235	151	468	May	Sep	20,5	468		-4			000 - II	A D A ^o	
14	Harare, Zimbabue	17° 48' S	31° 03' E	1.506	271	1.241	Nov	May	20,6	933			933 (+135)		VII - IX	D ₁ E ₁ D ^o	
18	Xan Xere, Brasil	26° 51' S	52° 24' W	791	209	750	Nov	Abr	20,7	693			151 (+526)		V - VIII	C ₁ E ₁ C ^o	
20	Katamani, Kenya	01° 50' S	37° 30' E	1.640	365	1557	Oct	Feb	20,7	747		-52			IX	B C E ^o	
22	Kabwe, Zambia	14° 12' S	28° 28' E	1.207	365	1.901	Mar	Jul	20,9	723		-33			VII - IX	B C E ^o	
24	Ponta Grossa, Brasil	25° 06' S	50° 10' W	868	275	1.042	Nov	Abr	21,4	823			120 (+227)		VII - IX	C ₁ E ₁ D ^o	
27	Castelnauri, Francia	43° N	02° 02' E	170	148	778	May	Oct	21,8	778		-175			000 - II	B A A ^o	
28	Padova, Italia	45° 55' N	11° 00' E	10	132	669	May	Sep	21,8	669		-32			000 - II	B D A ^o	
36	Chipata, Zambia	13° 13' S	32° 35' E	1.032	365	2.498	Dic	Abr	22,9	870			151 (+251)		VII - IX	D ₁ E ₁ D ^o	
41	Marrigane, Francia	43° 27' N	05° 13' E	36	166	907	May	Sep	23,3	843		-121			000 - II	B A A ^o	
45	Nagano, Japón	36° 06' N	137° 56' E	750	136	713	Jun	Oct	23,7	735		-6		128 (+123)	0 - V	C ₁ E ₁ B ^o	
46	Allison, E.E.U.U.	42° 45' N	92° 47' W	318	138	822	May	Sep	23,7	735					0 - V	B D B ^o	
48	Londrina, Brasil	23° 23' S	51° 11' W	566	365	2.116	Nov	Abr	23,9	1.431			181 (+301)		VII - IX	E ₁ E ₁ D ^o	
50	Noulouya, Marruecos	34° 08' N	02° 08' W	s/d	176	1.029	May	Sep	24,0	968		-375			V - VIII	B A C ^o	
52	Urbana, E.E.U.U.	40° 06' N	88° 14' W	223	150	907	May	Sep	24,2	806		-20			0 - V	B D B ^o	
53	Dhanwad, India	15° 27' N	75° 00' E	701	365	3.408	Jul	Nov	24,3	1.235			153 (0)		VII - IX	B D B ^o	
57	Palmira, Colombia	03° 31' N	76° 19' W	1000	365	3155	Mar	Jul	24,6	871		-11			IX →	B D E ^o	
							Set	Ene	23,9	1.142		-5				B D E ^o	

59	Mukden, China	41° 47' N	123° 24' E	44	135	875	May	Sep	24,9	875	-3		0 - V	B D B"
60	Suweon, Corea	37° 16' N	126° 59' E	37	150	968	May	Sep	24,9	968		137 (+402)	0 - V	D ₁ E ₁ B
65	Pichilingue, Ecuador	01° 06' S	79° 28' W	120	365	3569	Nov	Feb	25,4	1.82		105 (+574)	IX →	E ₁ E ₁ E"
67	Villavicencio, Colombia	04° 13'	53° 34' W	423	365	3785	Mar	Jun	25,9	1.052		106 (+278)	IX →	E ₁ E ₁ E"
69	Xuan-Loc, Vietnam	10° 57' N	107° 14' E	108	365	3789	Jul	Oct	24,3	1.276	-135	180 (+1.460)	IX →	C A E"
70	Luzon, Filipinas	15° 43' N	120° 54' E	75	365	4.273	Mar	Ago	26	1.695		921 (+261)	IX	E ₁ E ₁ E"
73	Jabalpur, India	23° 10' N	79° 57' E	393	365	3.709	May	Jul	26,3	1.008		92 (+573)	IX	D ₁ E ₁ E"
74	Frontera Hidalgo, Mexico	14° 47' N	92° 10' W	60	365	4.365	Ago	Oct	25,3	918	-165		VII - IX	D ₁ E ₁ E"
77	Bet Dagan, Israel	32° 00' N	34° 45' E	60	239	1.606	Dic	Mar	26,3	1.227		122 (+368)	VII - IX	C A D"
79	Phaetchaburi, Tailandia	16° 26' N	101° 09' E	114	365	4.504	Jul	Oct	27,1	1.733		135 (+860)	VII - IX	E ₁ E ₁ D"
81	Tiquisate, Guatemala	14° 17' N	91° 22' W	70	365	4.660	Jun	Ago	27,2	1.438	-251		V - VIII	E ₁ E ₁ D"
85	Córdoba, España	37° 51' N	04° 51' W	110	221	1.625	Ago	Oct	27,4	1.560	-81		VII - IX	E ₁ E ₁ D"
86	Taichung, Taiwan	24° 02' N	120° 07' E	200	365	2818	Jun	Nov	27,6	1.452	-298	125 (+426)	0 - V	B A B"
87	Adana, Turquía	26° 59' N	34° 18' E	20	218	1.872	Jul	Jun	27,9	1.152	-123		0 - V	B A B"
90	Guangzhou, China	23° 08' N	113° 19' E	6	296	2598	Feb	Jun	27,9	990			VII - IX	B A D"
96	Phitsanulok, Tailandia	16° 47' N	100° 15' E	44	365	4.525	Jun	Oct	28	1.637	-347		VII - IX	B A D"
98	Islamabad/Rawalpindi, Pak.	34° N	73° E	550	275	2.948	Oct	Ene	28,3	592	-208		V - VIII	C A D"
103	Abu-ghaab, Irak	33° 20' N	44° 24' E	200	244	3.117	May	Sep	28,1	1.569	-359		V - VIII	C A C"
							Feb	Jun	27,1	697		120 (+255)		
							May	Ago	28,3	1.021		100 (+233)		
							Jul	Nov	28,3	1.391		105 (+120)		
							Dic	May	25,8	333		135 (+145)		
							Jun	Oct	29,6	1.927	-10			
							Jul	Oct	30,6	1.695	-72			
							May	Oct	36	2.445	-1.091			

Referencias 1: Cantidad de días; 2: Suma de temperaturas sobre 15 °C; 3: Mes de siembra; 4: Mes de cosecha; 5: Temperatura media del mes más caliente; 6 y 7: Sumas de temperaturas acumuladas sobre 15 °C según el régimen de humedad; 8: Deficiencia de agua (mm); 9: Cantidad de días con ERIEP x 100 = 100 más exceso de agua (mm); 10: Grupo de maduración; (#): En la humedad de suelo el balance de agua indica deficiencia (negativos) o excesos (positivos) ambos en milímetros y cero condiciones de equilibrio.

A. Subregión oriental

En una primera utilización del *BHS* en 1973 la zonificación por aptitud mesoagro-climática del cultivo en la subregión oriental, se computó la información climática del período 1931-60. Se basó en la probabilidad de ocurrencia de años hídricamente favorables o desfavorables según la magnitud de la deficiencia en agua en los meses de enero y febrero, que son críticos para definir el rendimiento anual.

El mencionado incremento de las precipitaciones estivales en los últimos treinta años en la amplia región pampeana de secano, aconsejó actualizar los resultados obtenidos en aquella clasificación introduciendo también algunas modificaciones, utilizando valores pluviómetros del período treintaenal 1961-90. Además, se consideró la disponibilidad de agua en un lapso más acorde con el período vegetativo real del cultivo de soja en la región, y se fijó en 200 mm la capacidad máxima de retención de agua en el suelo, considerada esta como promedio para la subregión oriental argentina de secano.

En la primera clasificación mesoagroclimática se utilizaron valores de balance de agua durante toda la extensión del bioperíodo de 15 °C y la relación de la deficiencia en agua de ese lapso con la posible de ocurrir en los meses de enero-febrero. Este criterio temporal se modificó reduciéndolo al que ocupa realmente el período vegetativo de la soja que es en término medio el de seis meses, de noviembre a abril, en toda la subregión oriental. En efecto, si bien en las distintas áreas del norte de la subregión oriental, la disponibilidad térmica permite sembrar desde casi la salida del invierno, es aconsejable iniciar los cultivos sólo a partir de noviembre, pues siembras anteriores, son susceptibles de inducirse fotoperiódicamente por exposición de tejidos verdes a un fotoperíodo de duración menor al umbral crítico de los cultivares tradicionalmente utilizados. Esto aceleraría el desarrollo en detrimento de un crecimiento conducente a mejores rendimientos. Sin embargo, en los últimos años, en ciertas áreas, por ejemplo, en la provincia de Chaco, se está utilizando la práctica de "siembra primaveral", que produce la inducción fenológica señalada, pero que adelanta la cosecha al mes de diciembre-enero que, en años hídricamente favorables y con cultivares adecuados, determina rendimientos aceptables.

En el sur de la Región Pampeana no puede iniciarse el cultivo antes del mes de noviembre por falta de temperaturas activas de 15 °C, para el crecimiento inicial de la planta de soja. Entonces, desde el norte de Formosa hasta el sur de la provincia de Buenos Aires, puede aceptarse el mes de noviembre como iniciación del cultivo, aunque en ciertas áreas de la región núcleo, la introducción de tecnología agrícola perfeccionada, la plasticidad de nuevos cultivares, la siembra directa, los herbicidas selectivos, etc., actualmente permiten siembras algo anteriores con el beneficio del anticipo de la cosecha. En ciertas áreas de Región Pampeana, se contempla la factibilidad económica de siembras "de segunda" y aún "de primera", posteriores a noviembre con disminución de la duración del ciclo vegetativo y el potencial de rendimiento.

Por similar motivo térmico, el ciclo vegetativo declina o finaliza en toda la región a partir del mes de abril, cuando la humedad del suelo ya no actúa favorablemente y, al contrario, valores altos inciden negativamente en los procesos de maduración y cosecha. En la actualización de 1995, los índices hídricos extremos para los meses de enero más febrero, fijaron en menos de 25 mm de deficiencia en agua = "años buenos" y más de 62 mm de deficiencia en agua = "años malos" (Cuadro 15.11).

CUADRO 15.11. Criterio de valoración de la aptitud mesoagroclimática para la región oriental.

Índice agroclimático (mm de deficiencia en enero + febrero)	Características productivas del año	Valoración
0-25 mm	máxima producción zonal	año bueno
26-43 mm	mediana a reducida producción zonal	año regular
44-61 mm		
62 mm o más	mínima producción zonal o pérdida de cosecha	año malo

Estos índices agroclimáticos del *BHS*, (0-25 mm y 62 mm ó más) se corresponden con los de 33 mm y 100 mm, respectivamente, de deficiencias de agua en el bio-período de 15 °C según el *BHC*, utilizados en la clasificación macroagroclimática.

Para evitar la consideración de años intermedios, donde el rendimiento del cultivo puede estar influenciado por otros factores además de los climáticos, se tomaron en cuenta solamente los años buenos y los años malos, según la probabilidad de ocurrencia de deficiencias extremas indicada en el Cuadro 15.12.

A partir de los resultados del *BHS* para localidades con variados regímenes de humedad, se consideró que las probabilidades de ocurrencia de "años buenos" y de "años malos" de una vez cada dos, cada tres y cada cinco años (50%, 33% y 20% de los años) sería una calificación adecuada para una comparación de aptitud hídrica zonal. Para la valoración de la acción de la humedad en los dos meses coincidentes con el subperíodo crítico para agua resulta obvio señalar que, en cada punto geográfico el aumento o disminución de una situación de favorabilidad, se corresponderá con una condición contraria de desfavorabilidad. En el Cuadro 15.12 se presentan las diferentes combinaciones de aptitudes hídricas según el criterio valorativo adoptado.

Otra modificación incluida en esta clasificación, consistió en la consideración de los excesos de agua perjudiciales durante los procesos de maduración y cosecha. El índice agroclimático tuvo en cuenta los factores adversos que prolongan excesivamente el crecimiento vegetativo, el posible desarrollo de enfermedades, la dificultad para una maduración adecuada y el impedimento para la entrada al campo de las cosechadoras en momento oportuno. Estas situaciones se producen por temperaturas biológicamente favorables, valores elevados de humedad atmosférica y precipitación, así como por suelos anegados de escasa tractabilidad. Para cuantificar agroclimáticamente este efecto negativo, en trabajos anteriores se establecieron para la Mesopotamia valores superiores al 30% de los años con 20 mm de exceso de agua en el *BHS* del mes de abril, probabilidad que aumenta en mayo. En otros, para las provincias de Chaco y Formosa, se consideró la probabilidad de ocurrencia de 50 mm de exceso de agua sumado en los meses de abril y mayo y de 100 mm para iguales meses en el estado de Río Grande do Sul, Brasil. En las ubicaciones geográficas señaladas, el porcentaje creciente de años con los excesos de agua mencionados indicaron desfavorabilidad en la aptitud hídrica zonal para el cultivo. En la presente adecuación mesoagroclimática, se adoptó el exceso de 100 mm de

CUADRO 15.12. Clasificación hídrica mesoagroclimática para el cultivo de soja en seco según los milímetros de deficiencia en agua acumulada (BHS) en los meses de enero más febrero.

Porcentaje de años con deficiencia acumulada enero + febrero		Aptitud mesoagroclimática	Categoría
Menores de 25 mm Máximo rend. zonal	Mayores de 62 mm Mínimo rend. zonal		
> 50%	< 20%	muy buena	1
	20 % - 33 %	buena	2
50 % - 33%	< 20%		3
	20% - 33%	4	
	33% - 50%	regular	5
33% - 20 %	20% - 33%	marginal	6
	33% - 50%		7
< 20%	> 50%	no apta	8

CUADRO 15.13. Disminución de la aptitud hídrica zonal según el porcentaje de años con exceso de agua mayores de 100 mm en el BHS de abril y mayo sumados.

% de años con exceso > 100 mm en abril + mayo	Disminuir la aptitud hídrica zonal en
33 % a 50%	1 categoría
> 50%	2 categorías

agua sumados en el *BHS* de los meses abril y mayo como valoración negativa en la etapa de maduración (Cuadro 15.13).

A partir de los *BHS* se obtuvieron las cartas A y B de la Figura 15.14 con las áreas de rangos de probabilidades de ocurrencia de años hídricamente favorables y desfavorables. La superposición de ambas cartas generó la Figura 15.15 con las aptitudes zonales en cinco categorías valorativas en las que se consideró la incidencia de los otoños húmedos, como desfavorabilidad en calidad y/o cantidad de la producción. La escala de disminución de aptitud se estimó según el porcentaje de años con excesos mayores de 100 mm totalizados entre los meses de abril y mayo (Cuadro 15.13 y Fig. 15.14C).

La Figura 15.15 muestra la amplia región con condiciones "muy buenas" (categoría 1) para el cultivo de la soja en seco desde el punto de vista hídrico, factor meteorológico que, se repite, resulta determinante de la aptitud zonal. La primera categoría incluye la mayor parte de las provincias de Buenos Aires, Santa Fe y Córdoba. Las aptitudes decrecientes: "buenas" (categorías 2, 3, 4), "regulares" (categorías 5 y 6) y "marginales" (categoría 7), se ordenan rodeando hacia occidente a la región más adecuada según la decreciente favorabilidad de la disponibilidad de agua en el subperíodo comienzo de fructificación-peso máximo de las vainas (meses de enero + febrero).

El efecto negativo del exceso de agua en el otoño determina el descenso de una categoría de aptitud en gran parte de la Mesopotamia, y de dos categorías en la provincia de Misiones.

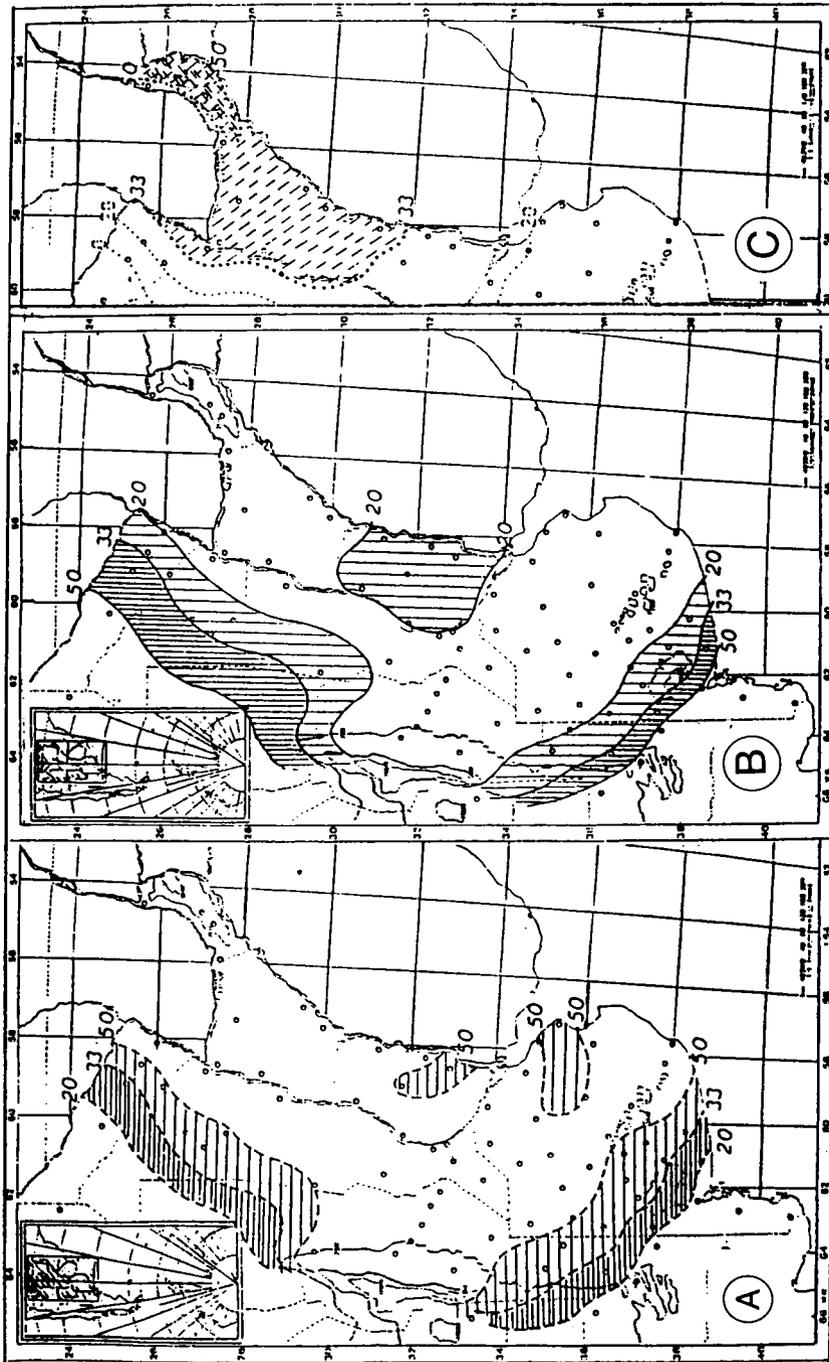


FIGURA 15.14. Aptitud mesoagrocimática hídrica para el cultivo de la soja en secoano. A: Probabilidad de "años buenos"; B: Probabilidad de "años malos"; C: Porcentaje de años con excesos de agua mayores de 100 mm.

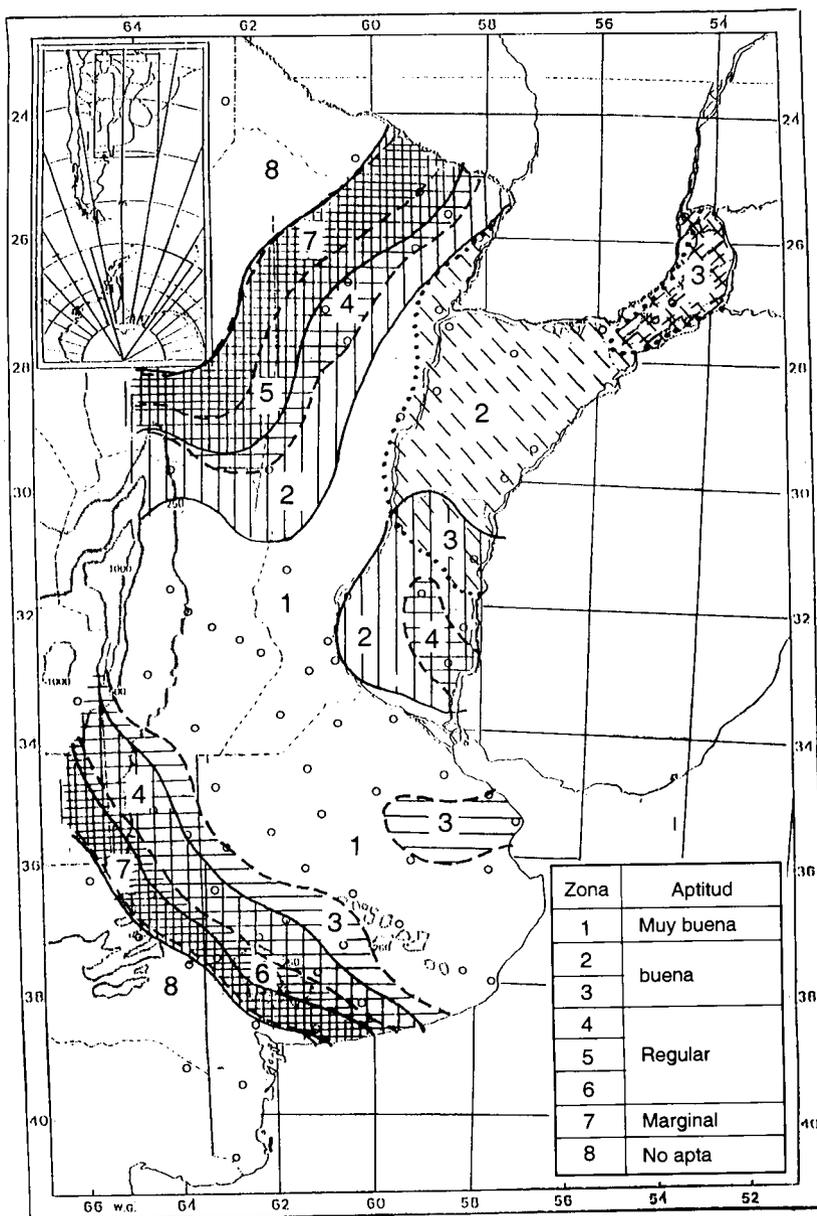


FIGURA 15.15. Aptitud mesoagroclimática de la subregión oriental para el cultivo de la soja.

La amplitud de la región original de cultivo en seco, tiene correspondencia con los nuevos tipos agroclimáticos generados por el aumento de la disponibilidad hídrica para la soja. Puede comprobarse que si bien se encuentran cultivos en la parte sudoccidental de la Región Pampeana, la aptitud mesoagroclimática en esa dirección disminuye abruptamente de la categoría, bueno 4 a la no apta 8, en pocos kilómetros. El mismo gradiente, aunque no tan pronunciado, se produce en los mesoclimas hacia el noroeste.

En la Mesopotamia el cultivo de la soja prácticamente ha desaparecido en Misiones, encontrándose solo en la mitad occidental de Entre Ríos. Seguramente, por la limitación climática que genera el exceso de agua en la maduración y, fundamentalmente, por el componente suelo, son los responsables de la falta de desarrollo cultural en esta parte de la región oriental.

B. Subregión noroccidental

Por el régimen monzónico de sus precipitaciones, para establecer la aptitud mesoagroclimática para el cultivo de soja en la subregión noroccidental, solamente se utilizaron los dos índices hídricos de sequía y humedad: *Iss* e *Ihs*. Además de ambos índices, fue necesario considerar las distintas duraciones del período de humedad *hHH'h'*, con la probabilidad de su ocurrencia a través del *BHS*, teniendo especialmente en cuenta como normal los 120 días con $p=0,50$. Como se señaló en la clasificación macroagroclimática, los cultivares de mejor comportamiento en la región tenían 120 días de período vegetativo. Este aspecto podría ser motivo de otro análisis debido a la utilización regional de material más eficiente y las nuevas técnicas agrícolas. La combinación de los índices hídricos señalados (Cuadro 15.14) y las posibilidades de duración (Cuadro 15.15) se consideraron en la clasificación mesoagroclimática.

CUADRO 15.14. Aptitud hídrica zonal según los valores de los índices de sequía (*Iss*) y de humedad (*Ish*) para el cultivo de la soja en el NOA.

Valor del <i>Iss</i>	Denominación zonal	Características hídricas para el cultivo	Valor del <i>Ihs</i>	Denominación zonal	Características hídricas para el cultivo
0	muy húmeda	inepta	0	seca	apta, marginal o inepta
1 - 4	húmeda	inepta a marginal	1 - 10	sub-húmeda seca	apta, marginal o inepta
5 - 8	sub-húmeda húmeda	apta	11 - 20	sub-húmeda húmeda	apta a marginal
9 - 12	sub-húmeda seca	apta a marginal	21 - 30	húmeda	marginal
+ de 12	seca	inepta	más de 30	muy húmeda	inepta

CUADRO 15.15. Tipos mesoagroclimáticos hídricos para el cultivo de la soja en secano en la subregión noroccidental de la Argentina.

Evapotranspiración relativa invernal			
ER/EP x 100 < 100			
Valor del índice de sequía (lss) y valor del índice de humedad (lhs)		Zonas	Aptitud para el cultivo en secano
lss	lhs		
período de hHH'h' < 120 días p = 0,50		A' 2,1	No aptos
+ de 12	1 a 10		
período de hHH'h' > 120 días p = 0,80		A' 2,1	
+ de 12	1 a 10		
9 a 12	0	B' 2,1	Marginal
período de hHH'h' > 120 días p = 0,80 a p = 1,00			Aptos
9 a 12	1 a 10	B' 2,2	
9 a 12	11 a 20	B' 2,3	
5 a 8	0	C' 2,1	
5 a 8	1 a 10	C' 2,2	
5 a 8	11 a 20	C' 2,3	
5 a 8	21 a 30	C' 2,4	Aptos marginales
- de 5	1 a 10	D' 2,1	
- de 5	11 a 20	D' 2,2	Marginal
- de 5	21 a 30	D' 2,3	
período de hHH'h' > 120 días p = 0,80 a p = 1,00			No aptos
- de 5	+ de 30	D' 2,4	
0	+ de 30	E' 2,1	

Como en la subregión oriental, la aptitud cultural queda definida por la disponibilidad de agua durante el período térmico útil, es decir, las variaciones combinadas de los *lss* e *lhs*, durante las distintas probabilidades de ocurrencia de 120 días con *hHH'h'*. La aptitud para el cultivo en secano de los diferentes valores incluidos en el Cuadro 15.5, fueron confirmados en la clasificación agroecológica.

15.5 CLASIFICACIÓN POR APTITUD AGROECOLÓGICA

Cuando se requiere definir e implementar una política agrícola, resulta imprescindible la regionalización de un territorio, mediante la determinación de sus aptitudes para las diferentes actividades de la empresa rural. Este objetivo se logra relevando todos los factores determinantes de sus posibilidades en las distintas áreas del territorio en estudio.

Para el cometido propuesto deben prepararse tres zonificaciones básicas: a) uso actual de la tierra o distribución espacial de las áreas destinadas a cultivo, a ganadería, a silvicultura, incultas, etc.; b) aptitud ecológica para las distintas actividades agrícolas y, c) infraestructura y condiciones socioeconómicas existentes.

Cuando el estudio se realiza para una especie agrícola particular, la zonificación de sus posibilidades de expansión cultural también requiere los mismos pasos. En el caso del cultivo de la soja en la Argentina, de las tres zonificaciones básicas previamente enumeradas no fue necesario considerar la infraestructura ni las condiciones socioeconómicas pues, por ocupar una región de tradición agrícola y, por ser esta oleaginosa un cultivo extensivo semejante a otros de siembra estival, encuentra el apoyo técnico necesario para un desarrollo sin inconvenientes mayores. Además, los aspectos socioeconómicos son eminentemente dinámicos, ya que el hombre puede incentivar el cultivo de una especie en áreas ecológicas no muy propicias y, en otros casos, desalentar la siembra en áreas de relevante aptitud ecológica.

La zonificación ecológica de una región para un cultivo en particular debe considerar las acciones que sobre la especie ejercen en forma conjunta el clima y el suelo, objetivo que se logra comparando las cartas de aptitud respectivas. Como regla, el clima marca los límites geográficos de la región donde puede realizarse extensivamente el cultivo y, dentro de esa superficie climáticamente apta, el suelo señala matices de cantidad y/o calidad de las cosechas, al integrarse con el clima para satisfacer las necesidades de la especie.

Como consecuencia, resulta interesante analizar la aptitud ecológica de la región con condiciones térmicas e hídricas favorables a la soja, para definir las posibles coincidencias del cultivo en clima y suelo con las disponibilidades correspondientes, tanto en las áreas de difusión actual como en las de siembra potencial. Para ello, se analizó las características de los suelos regionales como factor que se suma al clima en la determinación de la aptitud regional, mediante la comparación de las cartas de aptitud edáficas para el cultivo de esta oleaginosa en la región en estudio, con las cartas agroclimáticas respectivas, obteniendo así la zonificación ecológica buscada.

A. Subregión oriental

1. Zonificación agroclimática

En el estudio sobre aptitud mesoagroclimática de la subregión oriental para el cultivo de la soja (Cuadro 15.11), la adecuación de los índices hídricos logrados por el *BHS* separó los "años buenos" de los "años malos", con cuya combinación se de-

terminaron las aptitudes regionales, desde las zonas muy buenas a las ineptas (Fig. 15.15). Se obtuvo así, una carta de aptitud agroclimática en la cual aparecen ciertas áreas que, a pesar de su buena aptitud climática no mostraban relevancia en las estadísticas de siembra.

En el análisis realizado en 1995, el aumento de la superficie sembrado con soja y los rendimientos medios alcanzados en las diferentes zonas (Fig. 15.16), pusieron en evidencia dos hechos significativos como respuesta al clima regional:

- a. una coincidencia casi total del área con la mayor densidad de siembra y con mayores rendimientos, en el sur de Santa Fe, norte de Buenos Aires y este de Córdoba;
- b. menor difusión del cultivo en el resto de la región o un rendimiento reducido en aquellas áreas donde el cultivo de soja comenzó a difundirse con posterioridad, o en áreas como Misiones donde, a pesar de ser un cultivo tradicional, los rindes son comparativamente menores.

Una actualización de los rendimientos por hectárea señalados en la Figura 15.16 quedan reducidos si se los compara con los registrados en las últimas campañas agrícolas (ver Cuadro 15.23. Evolución del Cultivo en la Argentina) donde se presentan rendimientos provinciales superiores a 3.000 kg/ha, aunque con la misma gradación regional señalada.

Para utilizar las siete categorías de mesoagroclimas en la clasificación ecológica, se agruparon como lo indica el Cuadro 15.16, representadas en la carta de la Figura 15.17 (A) obtenida por superposición de las cartas de "años buenos" y "años malos". La región de cultivo en seco, quedó limitada por la disponibilidad mínima de humedad durante el período crítico para agua, a saber: menos de 20% de años buenos y más de 50% de años malos (Figs. 15.14 (A) y (B)). A oriente de la isolínea que marca esta condición con gradiente muy poco marcado, dada la característica

CUADRO 15.16. Zonificación agroclimática para el cultivo de soja en seco.

Porcentaje de años con deficiencia acumulada en enero y febrero		Aptitud climática	Categoría
< 25 mm "años buenos"	> 62 mm "años malos"		
> 50%	< 20%	Muy buena	1
	20 - 33%	Buena	2
50 - 33%	< 20%		
		20 - 33%	Regular a marginal
33 - 20%	33 - 50%		
	< 20%	> 50%	Nula

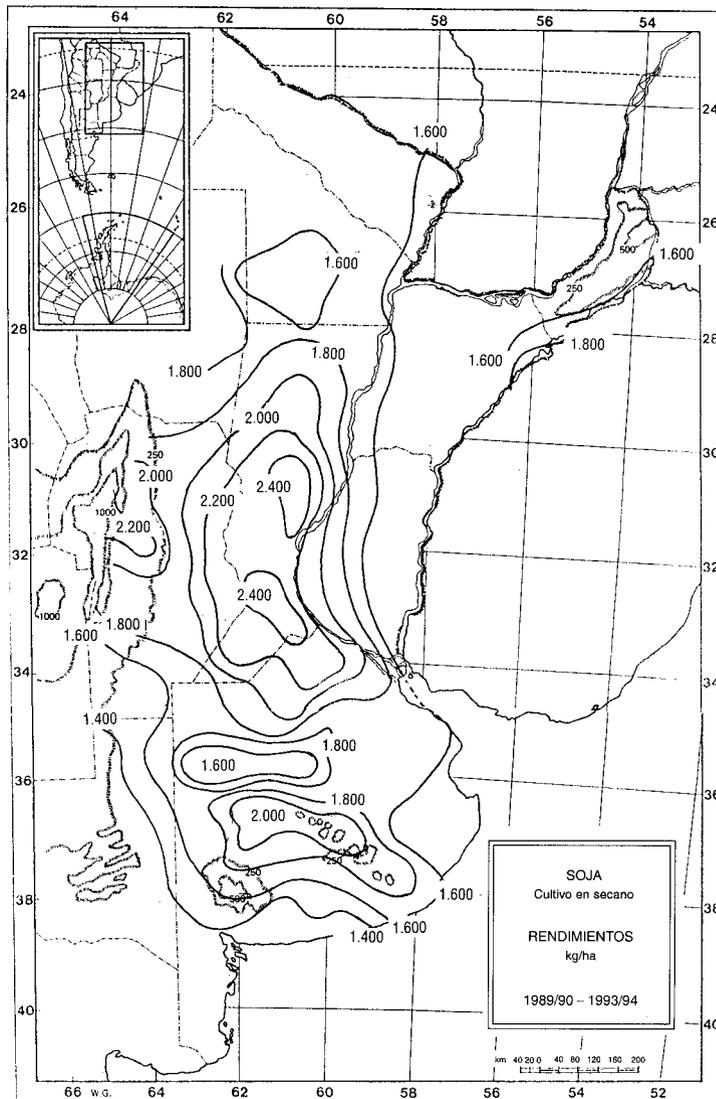


FIGURA 15.16. Rendimientos medios por ha de la pentada 1989/90-1993/94 en la región oriental.

horizontalidad del suelo pampeano, se desarrollan tres grandes áreas de aptitud agroclimática (categorías 1, 2 y 3). La suave variación de las precipitaciones y temperaturas, en disminución con sentido NE a SO, señala el mismo gradiente de aptitud. En cambio, al norte de los 30-32° de latitud, la dirección del gradiente se modifica y pasa a ser de SE a NO, como consecuencia del aumento de la evapotranspiración en igual sentido.

2. Zonificación edáfica

La superficie geográfica con aptitud agroclimática para el cultivo de la soja en secano, tiene variada gama de suelos con capacidades productivas distintas. Se presenta así una diferencia marcada, pues de una variación gradual en la aptitud agroclimática se pasa a variaciones, a veces bruscas, en la aptitud edáfica, con una distribución y secuencia espacial indefinidas. Por lo tanto, se realizó un relevamiento analizando los suelos regionales, tarea que pudo llevarse a cabo con la información uniforme disponible a escala 1: 500.000 para todo el país, en mapas que constituyen el "Atlas de Suelos de la República Argentina" (CIRN-INTA, 1990⁽⁸⁾), con los cuales se definió la aptitud edáfica en pocas áreas.

En las leyendas de Unidades Cartográficas contenidas en el texto que acompaña a las Cartas del Atlas, figura una columna referida a la Clase y Subclase de Capacidad de Uso de las Unidades Taxonómicas, integrantes de las Unidades Cartográficas. La clase de capacidad de uso indica el grado de limitación de las tierras para el uso agrícola, según la clasificación utilitaria de Klingebiel y Montgomery, 1960⁽⁹⁾, la cual establece ocho clases de capacidad de uso según un grado creciente de limitaciones de las tierras para la producción de cultivos comunes de cosecha, como la soja.

Los tipos de limitaciones son de muy diversa índole: drenaje, erosión, baja capacidad de retención de humedad, profundidad efectiva, alcalinidad, etc. Todas ellas fueron agrupadas en 4 subclases: limitaciones por erosión (hídrica o eólica), limitación por exceso de agua en el suelo, limitaciones de suelo (profundidad, pedregosidad, salinidad, etc.) y limitación climática. Esta última ya fue valorada en la zonificación agroclimática.

A medida que se agravan una o más limitaciones, las tierras pasan sucesivamente de Clase I a Clase VIII. Las Clases I a IV tienen aptitud agrícola, como así también aptitud pastoril y forestal. Las Clases V a VIII no tiene aptitud agrícola, pero conservan su aptitud pastoril y forestal. La Clase VIII se reserva para tierras que no poseen aptitud económica para los usos mencionados. Con la finalidad de facilitar la confección de la carta de aptitud edáfica para el cultivo de la soja, las ocho clases se reunieron en sólo tres, como se indica en el Cuadro 15.17 y Figura 15.17 (B).

La carta de aptitud edáfica de la región oriental argentina muestra que no existe un patrón definido de aptitudes, pues se alternan sin gradualismo las categorías 1', 2' y 3'. Las grandes áreas en blanco, no son aptas para el cultivo, aunque se encuentran dentro de la aptitud climática favorable.

CUADRO 15.17. Zonificación por aptitud edáfica de los suelos en la región agro-climática de cultivo.

Clases de capacidad de uso	Aptitud edáfica. Limitaciones para uso agrícola	Categoría
I y II	Sin limitaciones o limitaciones escasas	1'
III y IV	Con limitaciones moderadas a severas	2'
V a VIII	Con limitaciones excesivas	3'

(8) CIRN-INTA, 1990. SEAGyP. INTA-PNUDA Arg. 85/019. Área Edafología.

(9) Klingebiel A. and P. Montgomery, 1960. U. S. *Department of Agriculture Handbook* N° 210.

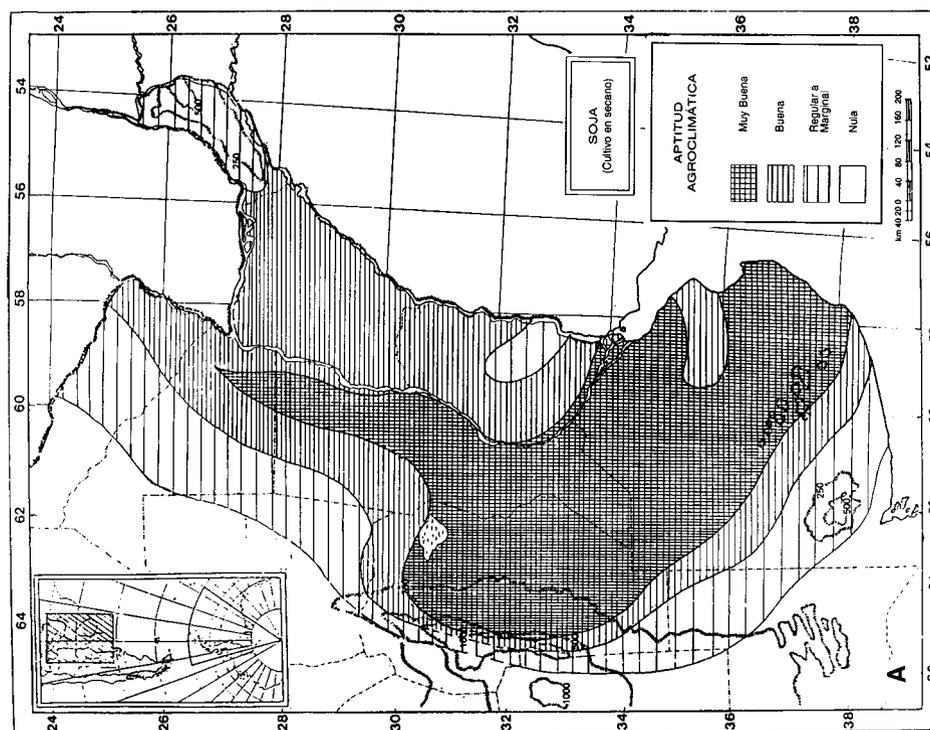
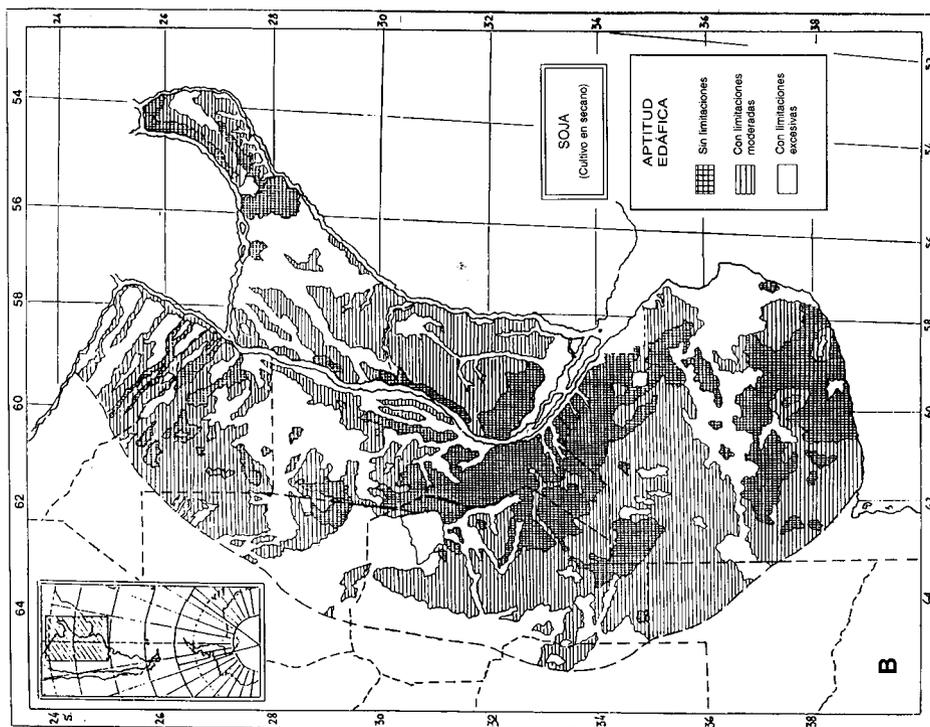


FIGURA 15.17. Cartas de aptitudes (A) agroclimática y (B) edáfica.

3. Zonificación agroecológica

La superposición de las cartas de aptitudes climática y edáfica condujo a la carta de la Figura 15.18. Las distintas combinaciones de aptitudes resultantes, se clasificaron en cinco categorías según la valoración de aptitud ecológica que significa para el cultivo de la soja y la superficie territorial cubierta por cada una de ellas (Cuadro 15.18).

Estas áreas de aptitud ecológica sólo representan una zonificación meso-agroclimática, dado que los componentes clima y suelo son valorados en forma diferente. Una clasificación ecológica más precisa deberá utilizar una escala cartográfica apropiada, que considere con mayor detalle las capacidades de uso de los suelos con sus limitaciones para el cultivo posible de la soja.

Los cálculos de superficies del Cuadro 15.18 señalan que la tercera parte (33,8%) de la superficie territorial climáticamente apta del oriente argentino, queda anulado por ineptitud edáfica para el cultivo de la soja. Las limitaciones excesivas para uso agrícola en la parte llana son debidas al mal drenaje, anegamiento e inundación, acompañados generalmente por procesos de alcalinización y salinización. En cambio, en los ambientes serranos, como los de Córdoba y San Luis, las razones son las fuertes pendientes, rocosidad, pedregosidad, escasa profundidad efectiva y erosión hídrica.

Otra tercera parte, formada por las áreas muy buenas y buenas (13,4% + 20,2%) se corresponden con suelos que tienen poca o ninguna limitación para cultivos de labradíos comunes y con las áreas de menores deficiencias hídricas en los meses de enero y febrero, donde se registra la mayor densidad del cultivo de soja. Los rendi-

CUADRO 15.18. Clases de aptitud ecológica para el cultivo de soja en la subregión oriental y extensión territorial ocupada por cada zona.

Aptitud agroclimática	Condición de Aptitud ecológica		Superficie	
			Miles de km ²	% sobre el total
1 - Muy Buena	1 - 1'	Muy Buena	119,2	13,4
2 - Buena	1 - 2'	Buena	180,4	20,2
3 - Regular a Marginal	2 - 1'		116,0	13,0
Aptitud edáfica		2 - 2'		
1' Sin limitaciones	3 - 1'	Marginal	174,3	19,6
	3 - 2'			
2' Con limitaciones moderadas	1 - 3'	Nula	301,1	33,8
3' Con limitaciones excesivas	2 - 3'			
	3 - 3''			
		TOTAL	891,0	100

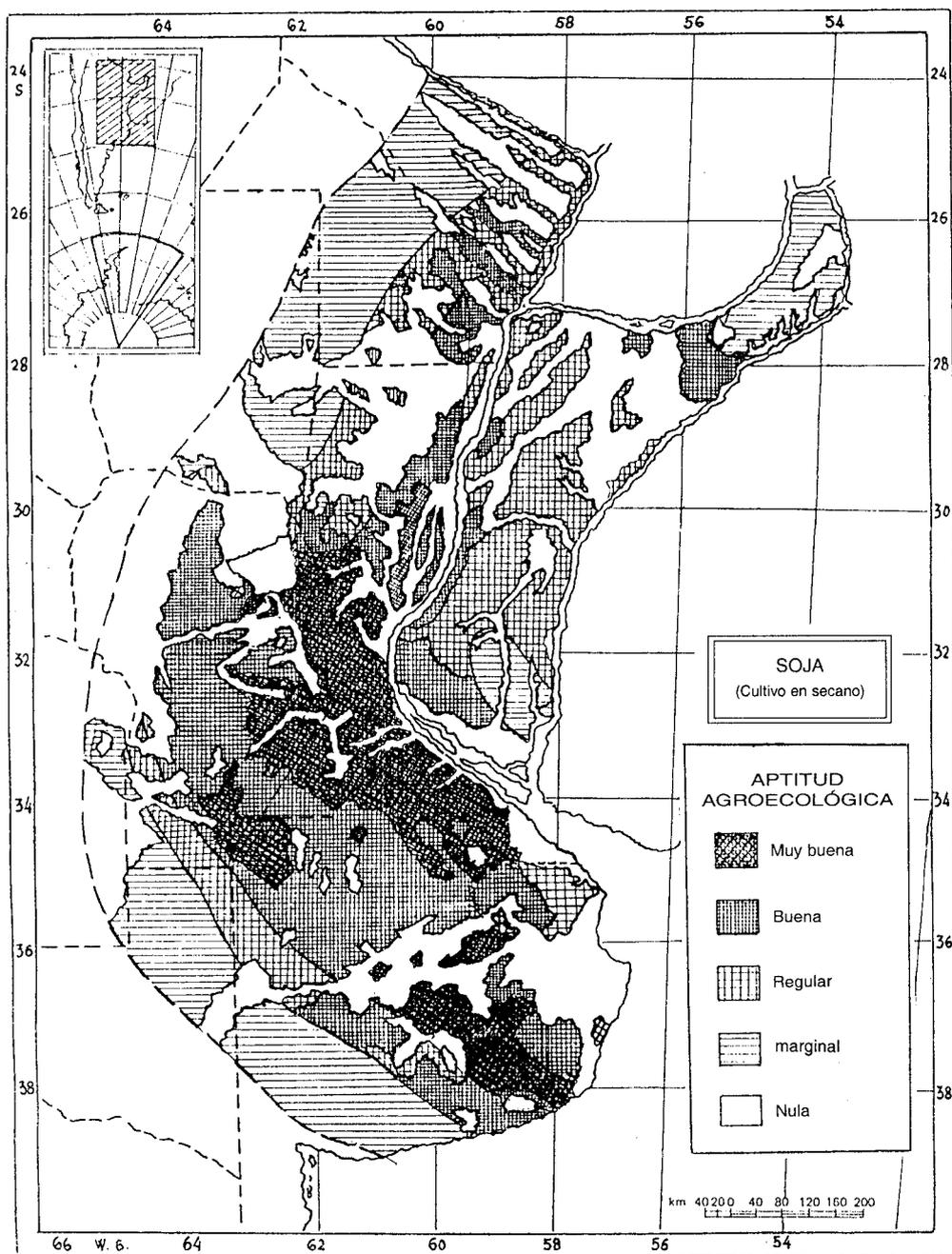


FIGURA 15.18. Carta de aptitud ecológica de la subregión oriental para el cultivo de soja.

mientos promedios de esas áreas según se muestran en la carta de la Figura 15.16 de comienzos de la década del noventa son de más de 2.400 kg/ha. La isolínea de 2.200 kg/ha que rodea a la zona ecológicamente privilegiada ocupa el centro-sur de Santa Fe, el este de Córdoba, el norte de Buenos Aires y el área pedemontana central de Córdoba por el efecto orográfico que aumenta las precipitaciones. En el centro sur de Buenos Aires, se ubica un área ecológicamente muy buena con un rendimiento promedio de más de 1.800 kg/ha. Como se dijo, los rendimientos actualizados a la última campaña agrícola (2002-2003) alcanzan en la zona núcleo valores aproximados a los 3.000 kg/ha (Cuadro 15.23).

El tercio restante (13,0% + 19,6%) corresponde a áreas regulares o marginales, las que podrán mejorar su aptitud ecológica mediante tecnología agrícola como, por ejemplo: utilización de cultivares resistentes a condiciones hídricas adversas, o adaptadas a suelos con limitaciones moderadas, como así también por la aplicación de prácticas de conservación de agua edáfica en áreas con deficiencia hídrica estival, etc.

El conocimiento de la aptitud ecológica para el cultivo de soja en la región oriental de secano de la Argentina permite analizar las posibilidades de su expansión y disponer de argumentos de política agropecuaria para planificar su futuro desarrollo.

Para el año 1995 la expansión del cultivo, ocupaba un tercio de la región de las áreas ecológicamente más aptas y se señalaban que podría aumentar por reemplazo y/o rotación con otras especies estivales. Otro tercio, especialmente hacia occidente, en correspondencia con la franja territorial limitada por ineptitud climática, podría dedicarse al cultivo con crecientes mejoras tecnológicas, aunque con riesgo de variación interanual de los rendimientos. La tercera parte restante del total de la región, no es apta debido a los suelos con limitaciones excesivas para uso agrícola e irregularmente distribuida dentro de las áreas con aptitud ecológica.

El análisis de la evolución de la superficie sembrada y los rendimientos regionales actualizados al momento de la aparición del libro, confirmarán estas afirmaciones, tanto para la subregión oriental como las que ocurrieron en la noroccidental.

B. Subregión noroccidental

El estudio de las posibilidades de expansión del cultivo de soja en el noroeste argentino supone el relevamiento de las posibilidades climáticas y edáficas que permiten el crecimiento y desarrollo de la especie considerada.

1. Zonificación agroclimática

El régimen térmico favorable para el cultivo de la soja en el NOA, permitió valorar climáticamente la región solamente con índices agroclimáticos hídricos. El Cuadro 15.15 de la clasificación mesoagroclimática sirvió para calificar por su aptitud, a la región noroccidental argentina, con simbología adaptada para simplificar la cartografía. En efecto, la carta de la Figura 15.18 (A) marca la diferente aptitud climática regional según la valoración resultante de la combinación de los *I_{ss}* e *I_{sh}*, al considerar que

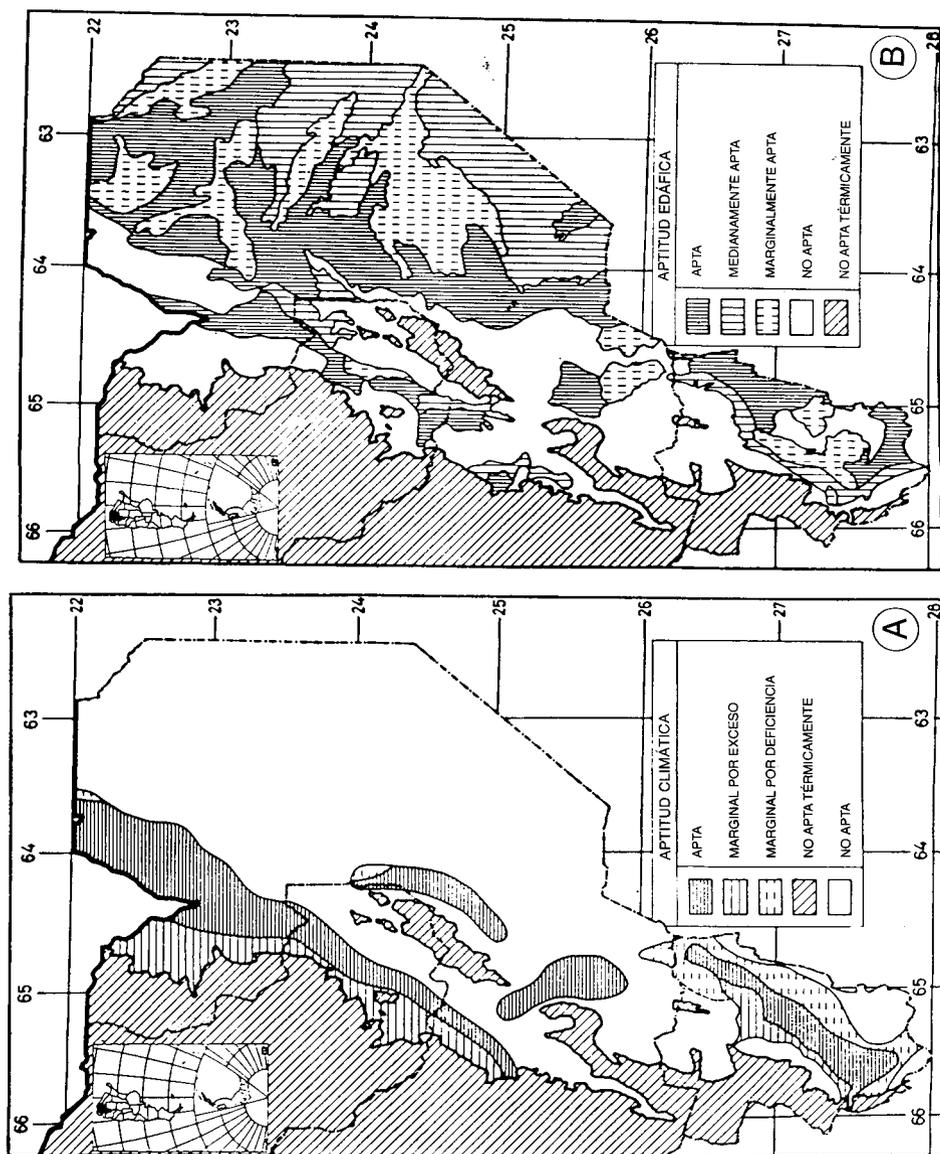


FIGURA 15.19. A y B. Zonificación de la subregión noroccidental para el cultivo de la soja, de acuerdo con las disponibilidades climáticas y edáficas, respectivamente.

los límites del cultivo señalan lss superiores a 12 e $lhs = 0$ ó $lss = 0$ e lhs mayores de 30. Las combinaciones entre estos extremos, junto con las probabilidades de 120 días de período $hhh'h'$, califican las áreas del NOA como: aptas (1), marginales por exceso hídrico (2), marginales por deficiencia hídrica (3) y no aptas (0), de acuerdo con la simbología adoptada (Cuadro 15.19). De norte a sur, entre los meridianos de 64° y 66° O, se encuentra una estrecha zona climáticamente apta que a oriente linda con ineptitud por falta de agua y a occidente con áreas marginales por creciente exceso hídrico durante el ciclo vegetativo de la soja.

2. Zonificación edáfica

La valoración de los suelos en su aptitud para el cultivo de la soja se estableció mediante cuatro categorías (Cuadro 15.19).

La información para segregar el espacio regional en las categorías establecidas, para Salta y Jujuy se derivó de Nadir y Chafatinos, 1982⁽¹⁰⁾ y de informes edáficos inéditos de, G.S. Fadda, producidas entre 1977-1982. Para Tucumán, se utilizó la determinación edafológica de un trabajo similar de 1986. Las simbologías para comparar con las aptitudes climáticas son:

Apta: más del 50% de la superficie apta para el cultivo, presentando ligeras a moderadas limitaciones o riesgos al uso y manejo de los suelos.

Medianamente apta: más del 50% de la superficie es apta para el cultivo, presentando moderadas a severas limitaciones o riesgos al uso y manejo de los suelos.

Marginalmente apta: entre 25 y 50% de la superficie es apta para el cultivo.

No apta: menos del 25% de la superficie es apta para el cultivo.

Como consecuencia de distintas clases y grados de limitaciones al uso y manejo de los suelos, las tierras aptas (1') para el cultivo de la soja en el NOA Figura 15.18 (B) se localizan en áreas de los valles intermontanos, umbral al Chaco, sectores de la llanura chaqueña en Salta y Jujuy y en la llanura chaco-pampeana en Tucumán correspondiendo, en general, a tierras desde suavemente inclinadas a casi a nivel, con suelos profundos, moderadamente a bien drenado, buena a mediana retención de agua, bien a moderadamente bien provistos de materia orgánica, reacción ligeramente ácida alcalina, con ligeras a moderadas limitaciones de erosión hídrica y moderada a baja capacidad de retención de agua.

Las tierras medianamente aptas (2') se localizan en valles intermontanos, pedemonte y sectores de la llanura chaqueña. Se trata de tierras suavemente inclinadas u onduladas hasta a nivel, con suelos medianamente profundos, imperfecta o excesivamente drenados, presentando moderadas a severas limitaciones por riesgo de erosión hídrica, condiciones de drenaje, capacidad de retención de agua y salinidad.

(10) Nadir, A. y T. Chafatinos. 1982. *Mimeograf*, 4 vol. 2 mapas. UNAS. SSUBCYT-SEEA.

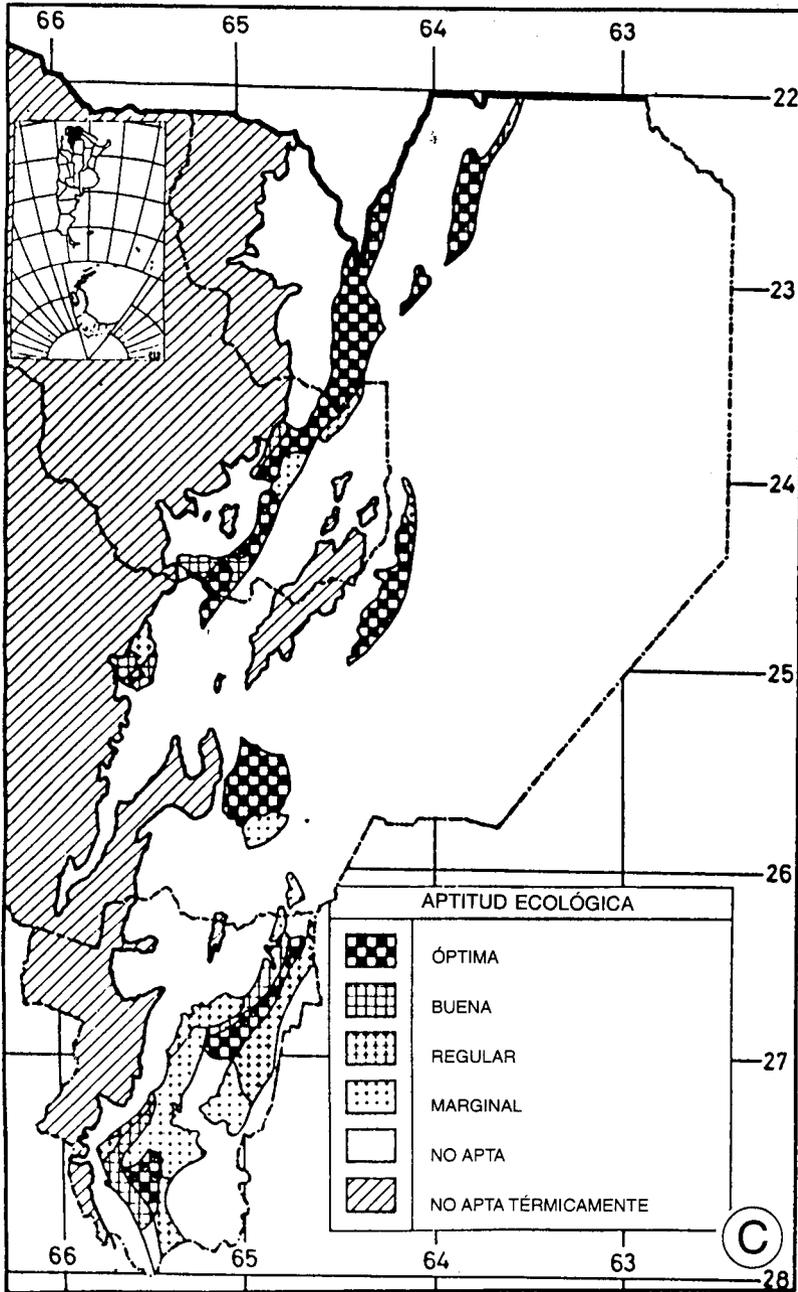


FIGURA 15.20. Carta de aptitud ecológica de la subregión noroccidental para el cultivo de la soja.

Las tierras marginalmente aptas (3') se localizan en áreas montañosas y en la llanura chaqueña que superan los límites críticos en el 50 a 75% de la superficie, cuyas limitantes para el cultivo son los riesgos muy severos de erosión hídrica, texturas extremas, exceso de agua en o sobre el suelo y/o contenidos salinos.

3. Zonificación ecológica

Para mostrar la aplicación de la técnica cartográfica de superposición a los espacios geográficos tan reducidos de la región sojera del NW, se incluye el resultado obtenido para la provincia de Tucumán (Figura 15.21).

La Figura 15.20 es el resultado de la superposición de las Figuras 15.19 (A) y (B); de acuerdo con las designaciones de aptitudes climáticas y edáficas del Cuadro 15.19, que generaron las categorías ecológicas (clima y suelos) del Cuadro 15.20.

Del análisis surge evidente que la zona ecológicamente óptima (1.1') para el cultivo, se reduce apreciablemente en Salta debido al déficit de humedad durante el período vegetativo, pues la buena aptitud edáfica es mucho más amplia. De igual forma, en Tucumán la mejor aptitud ecológica también representa superficie escasa, tanto por limitaciones hídricas como edáficas, siendo estas últimas bien marcadas en el centro de la provincia. En Jujuy la pequeña franja climática apta es bien acompañada por la aptitud edáfica.

Las áreas de aptitud ecológica menos favorables: buenas, regulares y marginales, tienen una distribución acorde con las disminuciones de favorabilidad climática y/o edáfica,

CUADRO 15.19. Simbología de las Figuras 15.18 (A y B) para calificar las aptitudes climáticas y edáficas para el cultivo de la soja en seco.

APTITUD CLIMÁTICA	
Símbolo	Designación
1	Apta
2	Marginal por exceso
3	Marginal por deficiencia
0	No apta

APTITUD EDÁFICA	
Símbolo	Designación
1'	Apta
2'	Medianamente apta
3'	Marginalmente apta
0'	No apta

CUADRO 15.20. Áreas de aptitud ecológica para el cultivo de la soja en seco.

Símbolo	Designación
1.1'	Óptima
1.2'	Buenas
2.1'	
3.1'	Regulares
2.2'	
1.3'	Marginales
2.3'	
3.3'	
0.1'	No aptas
0.2'	
0.3'	
1.0'	
2.0'	
3.0'	
0.0'	

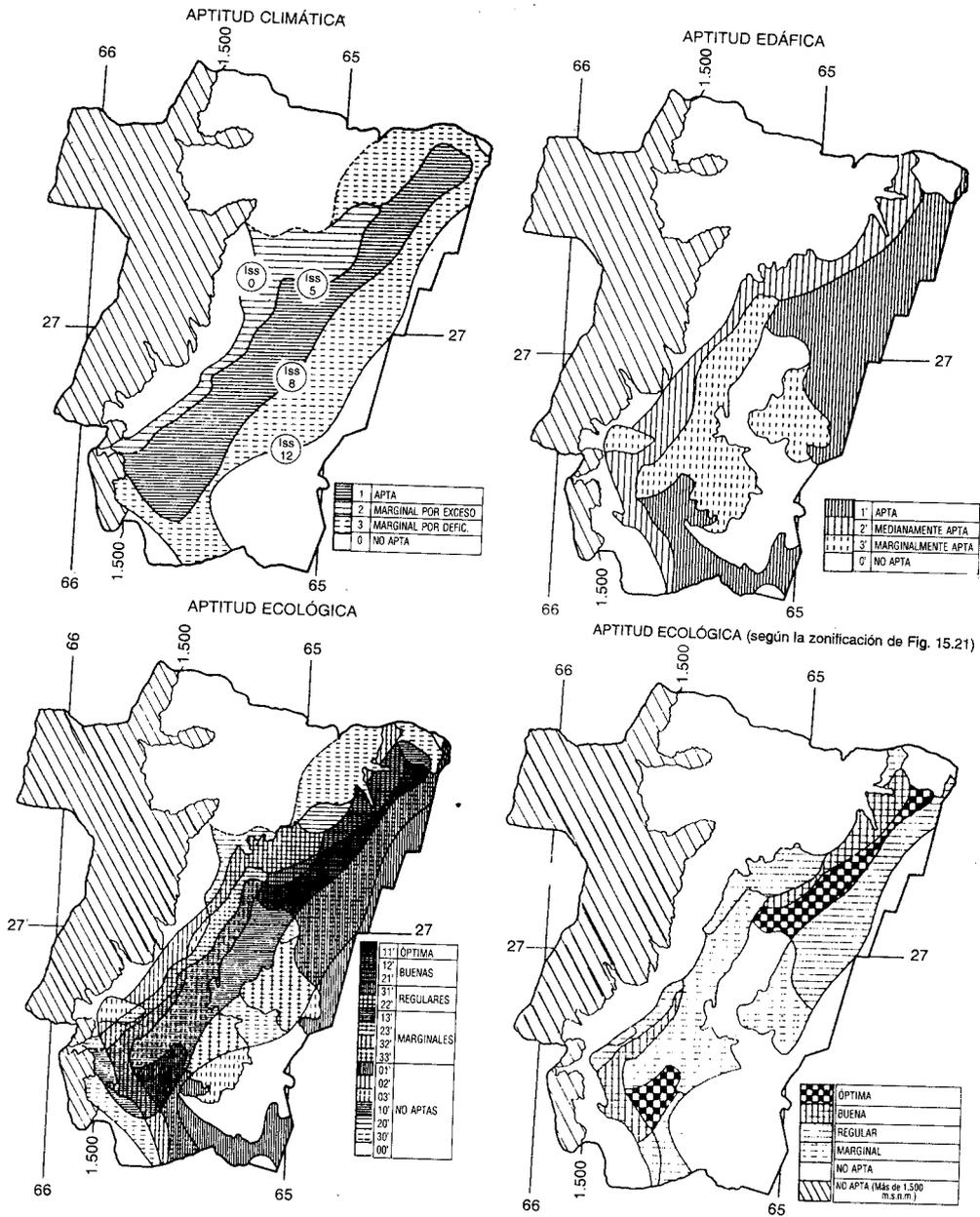


FIGURA 15.21. Zonificación por aptitud agroecológica de la provincia de Tucumán.

especialmente en Tucumán, en tanto que en Salta y Jujuy se pasa bruscamente de la zona óptima a la no apta sin pasar por zonificación intermedia. Tal es el resultado del gradiente en disminución de la precipitación hacia el este, o por falta de definición de las unidades de suelos en áreas pedemontanas lindantes con la isohipsa de los 1.500 m. Sin embargo, la marginalidad regional existe ya que, en años con favorabilidad climática, se observa un desplazamiento de las áreas cultivadas hacia el este a favor del aumento de las precipitaciones estivales, como aconteció en los años de la década del setenta. Este avance del cultivo en el NOA hacia oriente en áreas de características semiáridas con gran variabilidad en las precipitaciones anuales, son alternativas riesgosas para el equilibrio ecológico y la economía agrícola. No hay que olvidar que estas cartas de zonificación agroecológica se trazan con la ocurrencia probable de la humedad basados en series pluviométricas extensas que incluyen todas las situaciones posibles sin considerar, separadamente, los ciclos húmedos o los secos.

El Cuadro 15.21 muestra las superficies y distribución porcentual de las distintas aptitudes ecológicas de tres provincias.

La superficie cultivada con esta oleaginosa, que en la campaña 1987-88 estuvo en el orden de las 180.000 hectáreas, las áreas óptimas y buenas podrían extenderse hasta 920.000 hectáreas que representan un 7,6% de la región térmicamente apta para las tres provincias. En esta superficie la soja debe competir por el espacio con importantes cultivos de la región, como caña de azúcar, citrus, hortalizas, tabaco, maíz y poroto.

La posibilidad de expansión en áreas regulares y marginales (590.000 ha, 4,9% de la región teóricamente apta), cobra mayor importancia en Tucumán (461.000 ha), que en Salta (89.000 ha) y en Jujuy (40.000 ha). Esto exige la obtención y difusión de cultivares adaptados y generación de tecnología agronómica más eficiente que permita mejorar la calificación de estas áreas.

CUADRO 15.21. Inventario de las áreas correspondientes de zonas ecológicas de 3 provincias de la región del NOA para el cultivo de la soja en secano (año 1984).

Zona	Superficie en hectáreas											
	Salta			Jujuy			Tucumán			NOA		
	x 100	% sobre el total regional		x 100	% sobre el total regional		x 100	% sobre el total regional		x 100	% sobre el total regional	
		Superf. total	Superf. termic. apta		Superf. total	Superf. termic. apta		Superf. total	Superf. termic. apta		Superf. total	Superf. termic. apta
A- Térmicamente no apta	5.960	38,5		4.463	84,0		606	27,0		11.029	48,0	
B- Térmicamente apta	9.517	61,5		859	16,0		1.646	73,0		12.022	52,0	
Óptima	531	3,5	5,6	112	2,1	13,0	93	4,0	6	736	3,0	6,1
Buena	40	0,2	0,4	46	0,9	5,4	97	4,0	6	183	0,7	1,5
Regular	43	0,3	0,5	10	0,1	1,2	239	11,0	15	292	1,1	2,4
Marginal	46	0,3	0,56	30	0,5	3,4	222	10,0	13	298	1,2	2,5
No apta	8.857	57,2	93,0	661	12,4	77,0	995	44,0	60	10.513	46,0	87,5

La posibilidad de expansión de la soja en la región está fuertemente condicionada por las disponibilidades hídricas durante el cultivo, por lo cual resulta importante considerar las series climáticas que se utilicen para determinar los «Iss e Ish», índices que se modificaron como consecuencia del aumento de las precipitaciones en la última parte del siglo pasado, ampliando así las áreas de aptitud climática.

15.6 EVOLUCIÓN DEL CULTIVO DE LA SOJA EN LA ARGENTINA

La producción de soja en la Argentina creció aceleradamente a partir de mediados de la década del 70' del siglo pasado, cuando se alcanzó el millón de hectáreas sembradas. A partir de entonces, los incrementos fueron constantes. Si se comparan los valores del Cuadro 15.22 correspondientes a las cifras mundiales de la campaña 2006 con los del Cuadro 15.1, del año 1967 (pág. 13), la Argentina alcanzó el tercer puesto de la producción mundial detrás de EE.UU. y Brasil con el 18,3% de la producción mundial. En la comparación surge que, si bien EE.UU. continúa en el primer puesto, su participación porcentual sobre el total descendió aproximadamente del 73% al 40%, dado que la expansión del cultivo a nivel mundial se produjo en forma muy evidente. Países que no figuraban en las estadísticas en el siglo pasado, son hoy productores destacados habiéndose aumentado la producción mundial de 36 millones de toneladas en 1967 a más de las 220 que señala el Cuadro 15.23 para 2006, lo cual demuestra la importancia global de este cultivo proteo-oleaginoso para la alimentación humana y animal.

Cuadro 15.22. Superficie cultivada, rendimiento y producción de soja para diferentes países en 2006.

País	2006			
	Superficie cultivada (miles de ha)	Rendimiento (kg/ha)	Producción	
			Miles de t	% Mundial
EE.UU.	28.984	3.025	87.670	39,0
Brasil	22.000	2.379	52.356	23,6
Argentina	15.097	2.680	40.467	18,3
China	9.100	1.703	15.500	7,0
India	7.710	1.073	8.270	3,7
Paraguay	2.200	1.727	3.800	1,7
Canadá	1.226	2.882	3.533	1,6
Ucrania	425	2.092	889	0,4
Fed. Rusa	810	996	807	0,4
Indonesia	582	1.282	749	0,3
Otros países				3,4
Total mundial	92.989	2.382	221.501	100

Realizadas estas consideraciones la Figura 15.22 muestra la evolución del cultivo en la Argentina por superficie sembrada, rendimientos y producción, hasta la campaña 2009/10. Resulta evidente que tanto la superficie sembrada como la producción tuvieron un aumento constante y paralelo, aunque en los últimos años se produce una diferencia a favor de la producción acorde con el aumento de los rendimientos por hectárea.

El aumento promedio quinquenal creciente de la superficie sembrada (Cuadro 15.23) no se acompaña con el aumento porcentual similar de los rendimientos medios del país, ya que en cada quinquenio alguna campaña se vio afectada por la falta de precipitaciones en el ciclo biológico de ese lapso y, como se dijo anteriormente, la falta de agua es el principal factor determinante de los rendimientos. Son ejemplos recientes la sequía generalizada en la Región Pampeana durante 2008/09 que redujo el rendimiento medio del país a 1.848 kg/ha, seguido de los 2.900 kg/ha de la cosecha 2009/10, que produjo la producción récord de 53,5 millones de toneladas.

Por tal motivo, se presenta la Figura 15.23 donde se ha computado el promedio quinquenal móvil ponderándose así los rendimientos de cada lapso y de la cual puede inferirse la existencia de 3 etapas: la primera creciente, hasta el comienzo de la década del 40', cuando empieza un aumento significativo de la superficie cultivada, incluso en áreas de menor aptitud agroecológica, sin duda, por la incorporación de tecnología agrícola cada vez más eficiente. Se produce una meseta de rendimientos medios de poco más de 2.000 kg/ha durante unos 15 años. A partir de mediados de los 90', con la incorporación de cultivares genéticamente modificados, utilización de siembra directa y mejor control preventivo fitosanitario y de malezas, comienzan rendimientos mayores que, a partir de este siglo, se estabilizan en más de 2.500 kg/ha.

Cuadro 15.23. Variación promedio quinquenal de superficie sembrada y rendimiento de soja en la Argentina.

Período	Superficie sembrada		Rendimiento	
	Miles de ha	Variación %	kg/ha	Variación %
1969/70 - 1973/74	1.388	-	1.394	-
1974/75 - 1978/79	1.756	+ 26,5	1.915	+ 37,4
1979/80 - 1983/84	2.269	+ 29,2	1.996	+ 4,2
1984/85 - 1988/89	3.876	+ 70,8	1.978	+ 0,1
1989/90 - 1993/94	5.168	+ 33,3	2.180	+ 10,2
1994/95 - 1989/99	6.852	+ 32,6	2.202	+ 1,0
1999/00 - 2003/04	11.646	+ 70,0	2.513	+ 14,1
2004/05 - 2008/09	16.114	+ 38,4	2.610	+ 0,4

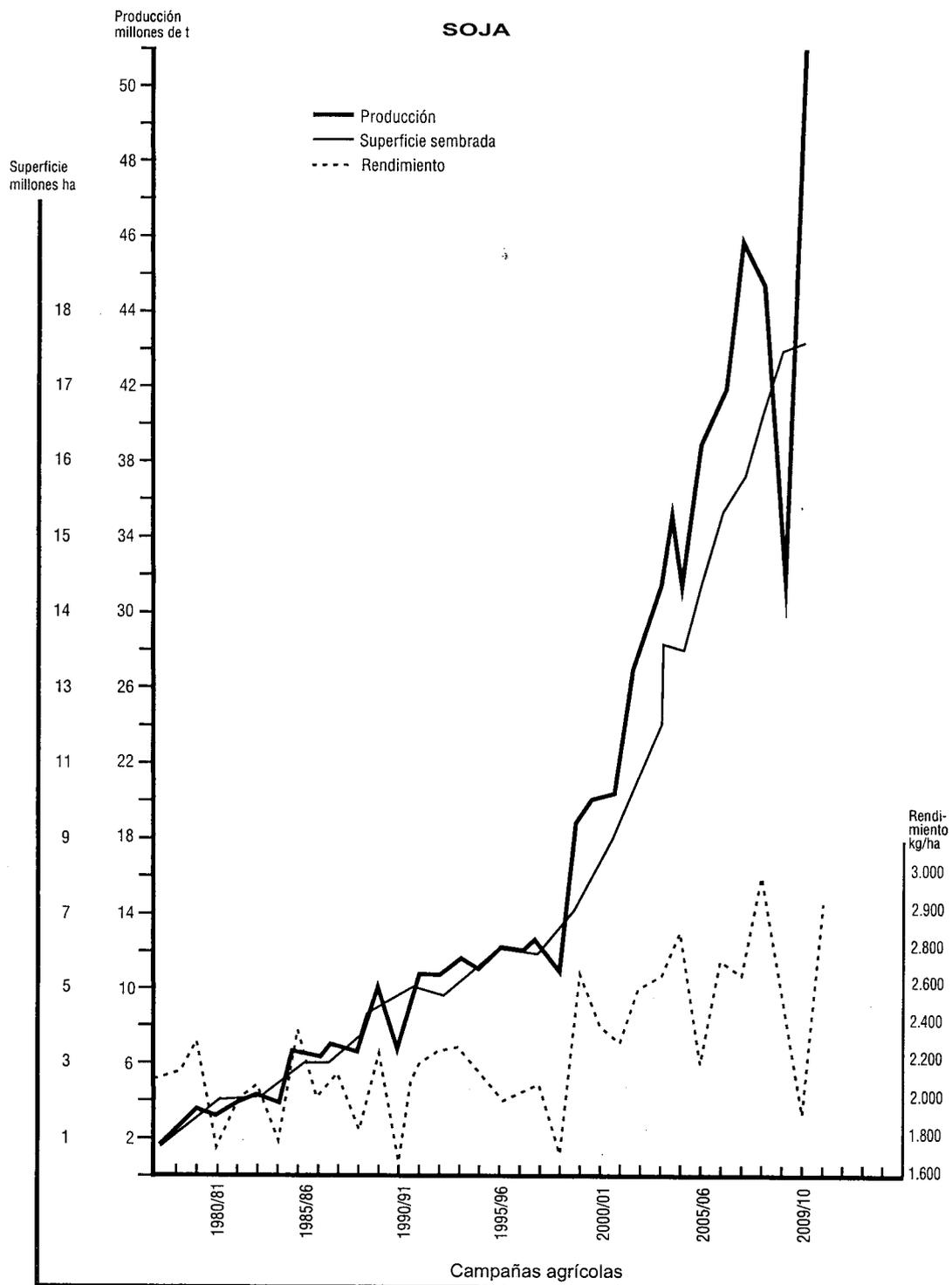


Figura 15.22. Evolución de la superficie sembrada, producción y rendimiento desde 1969 a 2010.

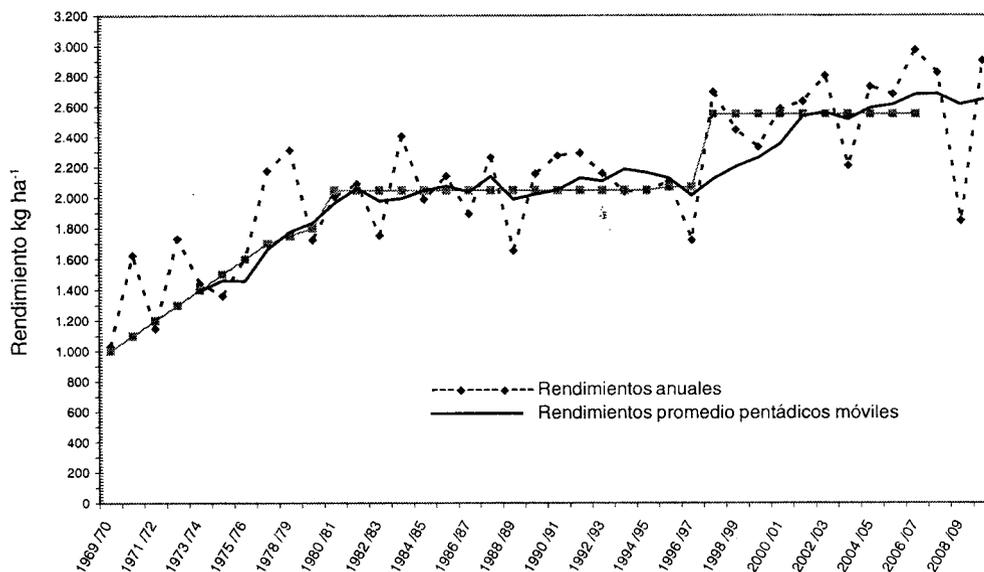


Figura 15. 23. Rendimientos promedios pentádicos móviles de la serie de la Figura 15.22.

Las causas de esta evolución tan favorable en los aproximadamente 40 años desde su implantación, no comparable con el incremento de ningún otro cultivo en la Argentina, son atribuibles a varias circunstancias, que pueden resumirse como principales.

En primer término, las investigaciones conducidas en la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires, que desde el comienzo de la década del 70' del siglo pasado, puso a disposición una carta de aptitud regional, tal como se explicó a principios de este capítulo. Esto permitió extender el cultivo que, paulatinamente, se fue incorporando a la agricultura tradicional de la Región Pampeana por el conocimiento de las áreas aptas, sin incurrir en errores experimentales en áreas decididamente ineptas. Más aún, la tecnología agropecuaria fue incorporando cultivares y metodologías tecnológicas que ampliaron el panorama cultural hasta lograr la situación actual.

La labor técnica del INTA, los grupos CREA, los técnicos, instituciones particulares, productores de semillas, junto a la masiva utilización de agroquímicos, fueron los responsables de la expansión regional del cultivo y de los elevados rendimientos alcanzados.

No es menos importante el aliciente de los precios, que se fueron alcanzando a nivel internacional debido a la necesidad proteica, lo cual elevó a la soja y a sus derivados a ser la principal fuente de divisas de la Argentina.

La zonificación ecológica o aptitud climato-edáfica de las dos subregiones de cultivo en secano presentadas en el libro, señalaron la superficie regional con posibilidad de expansión la que, obviamente, también da cabida a otros cultivos estivales. Si bien este intercambio de especies es positivo en una rotación adecuada, no lo es si se transforma en un monocultivo o un desplazamiento de otros tradicionales, como el poroto en Salta, o el algodón en Chaco.

El cultivo de soja sobre soja en la Región Pampeana no debería extenderse a riesgo de la pérdida de aptitud edáfica. Una correcta rotación con maíz y trigo debería estabilizar la expansión incontrolada del cultivo de la soja pero, sin duda, por ser de siembra estival más tardía, es una alternativa efectiva para reemplazar al maíz o al girasol cuando, dificultades climáticas, impidan la siembra de estas dos últimas oleaginosas.

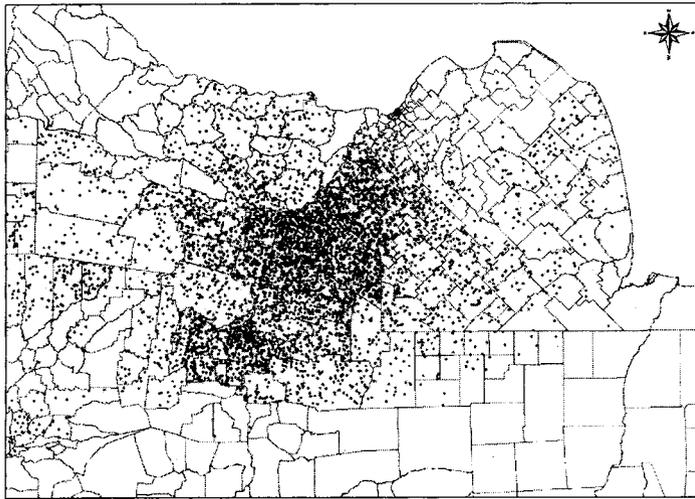
El cultivo en secano, según se estableció en las respectivas cartas de clasificaciones agroclimáticas, tuvo sus límites señalados por distintos índices hídricos. Es preciso señalar que en el último treinteno del año pasado estos límites fueron desplazándose hacia el oeste de la subregión oriental a favor de un generalizado aumento de las precipitaciones, especialmente las estivales. Esta variación climática influyó en el aumento de la superficie cultivable en detrimento, especialmente, de las dedicadas para distintos usos de la ganadería, lo cual indica que además de sustitución de cultivo en las áreas aptas, la soja avanzó hacia tierras con otros destinos, inclusive para la silvicultura.

A modo de ejemplo, la Figura 15.24 señala como fue expandiéndose el cultivo de la soja en la Argentina indicada por la densidad de puntos (1 punto = 1.000 hectáreas) como promedio decádico de la superficie sembrada durante 3 décadas consecutivas desde 1975 a 2004 en la Subregión Pampeana⁽¹¹⁾. Si se comparan estas cartas con la regionalización macroagroclimática de la Figura 15.10 A (pág. 34) y con la de aptitud mesoagroclimática de la Figura 15.15 (pág. 48) se evidencia la evolución a través de los años del aumento del cultivo en la amplia región señalada.

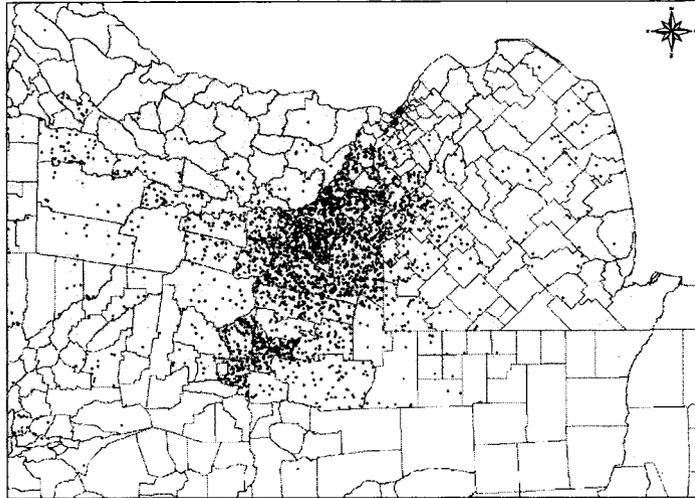
Es oportuno comentar aquí que en las clasificaciones agroecológicas descritas se presentan superficies potenciales para el incremento de las distintas áreas como respuestas a la aptitud para satisfacer necesidades bioclimáticas y edáficas de la especie. De allí que no debe tomarse la superficie total delimitada para el cultivo de la soja en cada caso sin tener en cuenta que en ella está incluida la posibilidad de otros cultivos con exigencias similares o para diferentes destinos del suelo. Igualmente, debería considerarse con cautela el aumento cultural en áreas actuales con mayores disponibilidades hídricas, ya que el incremento de las precipitaciones puede ser una variación temporal respondiendo a un ciclo positivo y no a una tendencia permanente. En muchas áreas de cultivo de secano en la historia agrícola argentina, la ocupación de superficies climáticamente lábiles por variabilidad pluviométrica, en ocasiones produjeron desertificación o descensos en su capacidad productiva. No debe olvidarse la aridez o semiaridez que afecta a gran parte del territorio de la Argentina.

(11) Murphy, G.M. 2010. Figura de trabajos no publicados. Cátedra de Climatología y Fenología Agrícola.

Superficie sembrada de soja 1995-2004



Superficie sembrada de soja 1985-1994



Superficie sembrada de soja 1975-1984

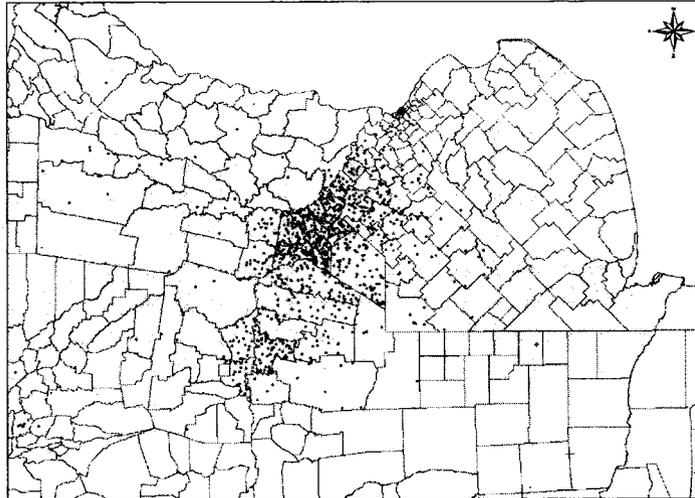


Figura 15.24. Variación de la superficie decádica promedio sembrada con soja de la Región Pampeana (1 punto 1.000 ha) en el treinteno 1975-2004.

Cuadro.15.24. Agroclimas hídricos para el cultivo de la soja. Humedad del suelo durante el período vegetativo.

Tipo Agroclimático	Índices agroclimáticos derivados del Balance Hidrológico Climático						Índices agroclimáticos derivados del Balance Hidrológico Seriado															
	Evapotranspiración relativa invernial			Evapotranspiración relativa invernial			Evapotranspiración relativa invernial				Evapotranspiración relativa invernial											
	ER/EP . 100>100		ER/EP . 100<100	ER/EP . 100>100		ER/EP . 100<100	ER/EP . 100>100		ER/EP . 100<100		ER/EP . 100>100		ER/EP . 100<100		ER/EP . 100>100		ER/EP . 100<100		ER/EP . 100>100		ER/EP . 100<100	
	Deficiencia de agua en el bioperíodo anual de 15 °C (mm)	Zonas	Duración del superíodo húmedo HH' (días)	Zonas	Aptitud para el cultivo en seco	Porcentaje de años con deficiencia de agua acumulada en enero más febrero < 25 mm > 62 mm	Zonas	Aptitud para el cultivo en seco	Zonas	Valor del Índice de Sequía (Iss) y Valor del Índice de Humedad (Ihs)	Aptitud para el cultivo en seco	Zonas	Valor del Índice de Sequía (Iss) y Valor del Índice de Humedad (Ihs)	Aptitud para el cultivo en seco	Zonas	Valor del Índice de Sequía (Iss) y Valor del Índice de Humedad (Ihs)	Aptitud para el cultivo en seco	Zonas				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14									
A' Muy Seco	100 mm ó más	A'1	0	A'2	No apto	0	+ del 50%	A'1,1	No apto	período hHH<120 días p = 0,50 + de 12 1 a 10	A'2,1	período hHH>120 días p = 0,50 a p = 0,80 + de 12 1 a 10	No aptos	A'2,2								
B' Seco	99 a 96	B'1	1 - 30	B'2	Marginal	- del 25%	33 - 50%	B'1,1	Marginales	período hHH>120 días p = 0,80 a p = 1,0 9 a 12 1 a 10	B'2,1		Marginal	B'2,2								
C' Sub-húmedo seco	65 a 33	C'1	31 - 90	C'2	Apto	- del 25%	25 - 32%	B'1,2	Aptos	9 a 12 11 a 20	B'2,3		Aptos	B'2,4								
D' Sub-húmedo húmedo	32 a 0	D'1	+ de 90 y hasta 100 mm de exceso de agua	D'2	Apto	33 - 50%	25 - 32%	C'1,1	Aptos a marginales	33 - 50% 33 - 50%	C'2,1		Marginales	C'2,2								
E' Húmedo	con exceso	E'1	+ de 90 y + de 100 mm de exceso de agua	E'2	Marginal a no apto	+ del 50%	- del 25%	D'1,1	Marginal a no apto	+ del 50% 33 - 50%	E'1,1		No aptos	D'1,2								
						+ del 50%	- del 25%	D'1,3		período hHH>120 días p = 1,0 - de 5 + de 30	E'2,1			D'1,4								

Cuadro 15.25. Superficie sembrada con soja: rendimientos y producciones para las campañas 1996-97 y 2006-07 de la Región Oriental y Noroccidental de la Argentina.

REGIÓN Y PROVINCIA	1996-97				2006-07			
	Superficie sembrada (miles de ha)	Rendimiento medio (kg/ha)	Producción		Superficie sembrada (miles de ha)	Rendimiento medio (kg/ha)	Producción	
			Total (miles de t)	% sobre el total del país			Total (miles de t)	% sobre el total del país
1. REGIÓN ORIENTAL	6.043,2	1.718	10.137	92,1	14.529	43.148	90,8	
a. Subregión Pampeana	5.916,2	1.701	9.883		13.773	41.754		
Prov. de Santa Fe	2.543	1.598	4.164	42,1	3.475	11.296	27,1	
Córdoba	1.901	1.820	2.206	29,4	4.478	14.173	34,0	
Buenos Aires	1.472	1.351	2.532	25,6	4.57	11.653	27,9	
Entre Ríos	0,2		281	2,8	1.436	3.927	9,4	
La Pampa					244	523	1,4	
San Luis					83	182	0,2	
b. Subregión Nor-oriental	127	2.000	254		756	1.391		
Prov. de Chaco	123	1.867	246	96,8	710	1.307	94,0	
Corrientes	3	1.615	6	2,4	22	34	2,4	
Misiones	1		2	0,8	1	2	0,1	
Formosa					23	48	3,4	
2. REGIÓN NOR-OCCIDENTAL	401	2.100	867	7,9	1.613	4.357	9,2	
Prov de Salta	166	2.200	343	43,0	477	1.361	31,2	
Sgo. del Estero	130	2.560	280	32,3	803	1.975	45,3	
Tucumán	90	2.300	202	23,3	281	876	20,1	
Catamarca	15		34	0,4	46	129	2,9	
Jujuy					6	16	0,4	
Otras provincias	260	1.400	8					
TOTAL DEL PAÍS	6.670	1.721	11.005		16.141	47.483		

Resulta significativo señalar el concepto de que las clasificaciones agroclimáticas para la zonificación de la aptitud agrícola regional tienen un carácter dinámico, dado que importa la serie climática utilizada en los cálculos. Para la soja no son fuentes de variación ni la temperatura, porque el territorio de la Argentina para su cultivo en secano está dentro de los límites térmicos aceptables para su desarrollo, ni los fotoperíodos, dada la regularidad anual de este factor geográfico y la posibilidad de utilizar cultivares ya existentes o a crear. Toda la diferencia en la ponderación de la aptitud agrícola geográfica la marca la variabilidad pluviométrica, que tanto influyó en las últimas décadas en su comportamiento cultural, como fuera señalado repetidamente en este capítulo.

Por ser la disponibilidad hídrica en los suelos responsable principal en la variación de los rendimientos durante el ciclo biológico cultural, el estudio de la aptitud regional actual, sea a nivel macro a mesoclimático, debería actualizarse con series climáticas más recientes. Los índices agroclimáticos hídricos a utilizar serían los desarrollados en este capítulo del libro y, para una relación entre ellos en el Cuadro 15.24 se presentan, tanto el cálculo como la simbología de los agroclimas hídricos a utilizar, derivados de los balances hídricos climáticos o meteorológico seriado, acordes con la amplitud regional o areal a caracterizar.

Un comentario final con referencia a la expansión agrícola nacional actual del cultivo de la soja. De los pequeños núcleos sojeros de mediados del siglo pasado en la Argentina se pasó en 2006/07 a una amplia Región Oriental y otra Noroccidental (Cuadro 15.25) con 16 millones de hectáreas sembradas y unas 47 millones de toneladas, siendo interesante mostrar cual es actualmente la importancia relativa en el país de las dos subregiones de cultivo en secano: la Oriental y la Noroccidental. La primera representa alrededor del 90% y la segunda un 10% aproximadamente, acorde con las condiciones climato-edáficas desarrolladas en el tema de las clasificaciones agroecológicas. Sin embargo, a pesar de que esta relación tradicionalmente se mantuvo constante desde el incremento del cultivo en el país, importa señalar el gran aumento de la Subregión Noroccidental que en los últimos 10 años, comparados en el Cuadro 15.25, pasó de 400.000 ha a 1.600.000 ha aproximadamente, mostrando un gran aporte en todas sus provincias.