

FACTORES QUE AFECTAN LOS RENDIMIENTOS EN LA REGION MAICERA ARGENTINA

E. M. Sierra (1) y O. D. Pórfido (2)

RESUMEN

Como primer paso hacia la formulación de un modelo de rendimientos en la región maicera argentina, se intentó identificar los factores que tienen mayor influencia sobre los mismos. Para cada factor considerado se desarrolló un índice numérico que permite su introducción como variable en un estudio de correlación y regresión múltiples, poniendo de manifiesto en forma objetiva su efecto sobre los rendimientos.

Pudo demostrarse la dependencia de los rendimientos con respecto a tres factores causales, expresados mediante los índices de acción directa del clima sobre el crecimiento del cultivo (ICD), de acción edáfica (IAE) y de acción indirecta del clima favoreciendo la aparición de plagas y enfermedades (ICI), que en conjunto permitieron explicar un 87,3% de la variación de los rendimientos departamentales medios para el período 1969-78, siendo sus coeficientes de correlación parcial de 0,713, 0,890 y 0,533, respectivamente.

SUMMARY

As a first step towards yield modelling in the argentine corn cultivation area, it was attempted to detect the most important factors affecting them. From each factor a numerical index to measure its effect through a multiple correlation and regression analysis was derived.

Yields showed dependence on three causative factors expressed by the indexes of direct climatic action (ICD), soil action (IAE) and indirect climatic action as a cause of disease appearance (ICI). The combined effects of this three indexes allowed to explain the 87,3% of yield variation for departamental means (1969-78 period), being their partial correlation coefficients 0.713, 0.890 and 0.533, respectively.

INTRODUCCION

Diversas clasificaciones agroclimáticas para cultivos han sido derivados de estudios bioclimáticos e hidrológicos, aunque sin efectuar un análisis cuantitativo de los efectos de las disponibilidades climáticas sobre el rendimiento del cultivo, aspecto que actualmente está siendo encarado a través de dos programas de investigación en la Cátedra de Climatología y Fenología Agrícolas de la Facultad de Agronomía, el Plan CAFPTA 152 sobre girasol, y el Plan INTA-Facultad

sobre maíz, y el presente trabajo constituye un intento de establecer los puntos de partida para el estudio del problema en las condiciones particulares de nuestro país.

A diferencia de los estudios bioclimáticos, en que los cambios en el desarrollo pueden atribuirse fundamentalmente a factores climáticos, al encarar una cuantificación de efectos sobre el rendimiento es necesario reconocer, además, la aptitud agrícola de los suelos, la acción limitante de plagas y enfermedades, y los cambios tecnológicos en el tiempo y en el espacio.

(1) Profesor Adjunto de la Cátedra de Climatología y Fenología Agrícola e Investigador Adjunto del C.O.N.I.C.E.T.

(2) Jefe de Trabajos Prácticos de la Cátedra de Climatología y Fenología Agrícolas. Facultad de Agronomía, UBA, Av. San Martín 4453, Capital Federal.

La aptitud edáfica ha sido considerada anteriormente (Zaffanella y Zaffanella, 1960; Pizarro, 1979), aunque sin establecer relaciones cuantitativas, y si bien son de uso común varias clasificaciones según aptitud agrícola (Klimgebiel y Montgomery, 1958; Sopher *et al*, 1973; Peters, 1977), las mismas corresponden a una escala de trabajo mucho más detallada que la posible en un estudio a nivel mesoagroclimático.

La incidencia de plagas y enfermedades es uno de los factores limitantes de la producción agrícola cuya importancia ha sido reconocida en forma más temprana, existiendo incontables trabajos sobre fitopatología que han tratado este aspecto, no obstante lo cual sólo raramente se intentó relacionar su acción con las de otras variables, por lo que es difícil hacer referencias bibliográficas que correspondan a los fines presentes.

A través de una serie de visitas a estaciones experimentales de INTA y de la Provincia de Buenos Aires, realizadas con el fin de recopilar datos para los planes de investigación mencionados, se discutió este problema con técnicos de las mismas, formulándose una hipótesis de trabajo para este aspecto, que se resume a continuación. La aparición de plagas y enfermedades responde en gran medida al acentuamiento de condiciones atmosféricas (térmicas e hídricas sobre todo) que, paradójicamente, tienen al mismo tiempo el efecto de acelerar el crecimiento y desarrollo del cultivo. Por lo tanto, a medida que las disponibilidades climáticas se acrecientan, aumenta el crecimiento pero también aumenta la incidencia de plagas y enfermedades, estableciéndose un balance entre ambas funciones, de cuyo resultado depende en última instancia el rendimiento del cultivo. La impresión general que resultó de las opiniones recibidas es la de que los mejores rendimientos se obtienen bajo condiciones climáticas inferiores a las correspondientes al óptimo de crecimiento, ya que al alcanzarse ese nivel, la incidencia de plagas y enfermedades se hace tan grande que el rendimiento disminuye sensiblemente.

Aunque respecto a las mejoras tecnológicas introducidas durante los últimos treinta años existen antecedentes en la bibliografía (Thompson, 1963, 1969, 1970), al efectuarse un análisis de las distintas zonas que integran la región maicera, se comprueba que el comienzo de este proceso no ha sido simultáneo en todas, generalizándose recién a comienzos de la última década.

Además, debe tenerse en cuenta que la tecnología actúa sobre los otros factores considerados. Prácticas adecuadas de manejo y conservación pueden modificar considerablemente la aptitud edáfica, siendo ésta una de las principales componentes del aumento de los rendimientos, mientras que la incidencia de plagas y enfermedades puede verse atenuada, tanto en forma directa por tratamientos fitosanitarios, como en forma indirecta por selección de cultivares resistentes.

No obstante, la incorporación de mejoras tecnológicas implica casi siempre un incremento en las inversiones económicas, lo cual por su parte es posible si los rendimientos esperables lo justifican, de manera que es justamente en las zonas potencialmente más aptas, desde el punto de vista edáfico y climático, donde las mejoras tecnológicas son mayores, cerrándose así el círculo de interacción entre los distintos factores.

Puede enunciarse, entonces, la hipótesis que, dentro de grandes áreas, el factor tecnología está en equilibrio con las disponibilidades edáficas y climáticas, siendo posible integrar sus efectos con los de estas variables. Naturalmente, esto sólo es válido en macroescala, ya que en el caso de explotaciones individuales las variaciones debidas al mejor o peor uso de los recursos tecnológicos suelen ser decisivas.

De acuerdo con lo expuesto, el objetivo del presente trabajo es determinar si los rendimientos en la región maicera argentina pueden ser explicados satisfactoriamente en función de los efectos combinados del clima, suelos e incidencia de plagas y enfermedades, en la hipótesis de que el nivel tecnológico está en equilibrio con los dos factores antes

mencionados. Este estudio constituye una primera etapa, en macroescala, de un programa de investigación en el que el nivel de resolución irá siendo paulatinamente incrementado hasta llegar, de ser posible, a la microescala. Una aproximación análoga, es decir, disponibilidades climáticas regionales junto a sus limitantes edáficas y adversidades, tanto físicas como biológicas, en dos niveles de tecnología agronómica, están siendo encarados para determinar la aptitud agroecológica a nivel mundial a fin de valorar las posibilidades de incremento en la producción de alimentos en el futuro (FAO, 1978).

MATERIALES Y METODOS

A - Datos de rendimiento

Los datos de rendimiento del cultivo pueden ser obtenidos a partir de dos fuentes de distinta naturaleza.

Por un lado, existen los registros de los ensayos experimentales coordinados por la Red Oficial de Ensayos Territoriales (ROET) de la Secretaría de Agricultura de la Nación que se llevan en experimentales del INTA y de varias provincias, y de los ensayos realizados por las experimentales como parte de sus programas de trabajo. A esta fuente corresponde la información más detallada con que puede contarse actualmente, y por lo tanto la que permitiría un análisis más profundo, no obstante lo cual debe tenerse en cuenta que en la mayoría de los casos los experimentos no son conducidos con miras a la comparación de resultados entre diferentes localidades sino, más bien, a la comparación del comportamiento de distintos cultivares dentro de una misma localidad, y resulta aventurado emplearla en un estudio de proyección geográfica sin una adecuada depuración.

Parte de esta información ha sido recopilada a través de los programas de investigación antes mencionados, habiéndose realiza-

do en cada experimental una detallada consulta con el técnico a cargo de los ensayos, concluyéndose que los datos de distintas localidades no podrán ser analizados en forma conjunta hasta tanto puedan eliminarse los efectos de las distintas modalidades de conducción en lo que hace a factores tales como densidad de siembra, ataque de pájaros, etc, circunstancias que, por corresponder a superficies reducidas, no es posible generalizar para la zona cuya aptitud para el cultivo desea inferirse. Se presenta, entonces, un problema de escala, ya que los datos de los ensayos corresponden a un nivel micro, mientras que los datos climáticos disponibles para explicar sus variaciones son de tipo macro, o a lo sumo, mesoclimático.

Por otro lado, existen en la Secretaría de Agricultura los registros de Estimaciones Agrícolas, consistentes en datos a nivel de partido para la provincia de Buenos Aires y de departamento para las restantes. Esta información permite un nivel de resolución mucho menor que la anterior, ya que carece de observaciones fenológicas, no indicándose tampoco los cultivares empleados ni la incidencia de plagas y enfermedades, pero por abarcar áreas de observación mucho mayores se encuentra considerablemente menos afectada por particularidades locales, presentando una evidente coherencia en su distribución geográfica, que se ajusta muy bien a la variación de las condiciones climáticas y edáficas. Por lo tanto, se consideró que esta última fuente de información era la más adecuada para validar las hipótesis enunciadas, determinando las modalidades generales de acción de las variables ambientales mencionadas, cumpliendo así la primera de una serie de etapas con niveles de resolución crecientes en que se hace necesario dividir el estudio debido a la cantidad de incógnitas que se presentan.

Se decidió trabajar con los promedios de rendimientos de los últimos diez años disponibles al comenzar el análisis, es decir con el período 1969-78. Esta elección constituyó posiblemente el aspecto más delicado del

estudio y es necesario exponer las razones que la motivaron.

La utilización de valores anuales en lugar de promedios hubiera permitido disponer de una mayor cantidad de datos, poniéndose además de manifiesto la variabilidad de los mismos, enmascarada en los promedios, pero dado que en esta primera etapa se deseaba ante todo detectar los factores que limitan los rendimientos en la región maicera, efectuando una caracterización general de sus respectivas modalidades de acción, sin pretenderse llegar a un modelo de rendimientos, ello hubiera constituido una complicación sin representar una verdadera ventaja para el logro del objetivo propuesto. Por lo tanto, se consideró más conveniente reservar el análisis de los valores anuales para una segunda etapa, en que serán estudiados sobre la base de las conclusiones derivadas de la

presente, en un nivel de resolución superior.

Aún así, los promedios de los últimos cinco años hubieran resultado más ilustrativos para el técnico en producción, ya que las mejoras tecnológicas hacen que los promedios del período 1969-78 sean bajos con respecto a los valores que se manejan actualmente, pero debe tenerse en cuenta que si se opta por utilizar promedios de rendimientos como variable dependiente, deberán, también, utilizarse promedios de los distintos factores causales que se introduzcan como variables independientes. Por lo tanto, todos los promedios que se empleen en el análisis deben corresponder a un lapso lo bastante largo como para que no pueda dudarse de su representatividad, requisito que en el caso de series de menos de diez años a menudo no se cumple, según puede inferirse de los ejemplos que se exponen a continuación.

Figura 1: Evolución de los rendimientos medios de maíz en la Argentina. Período 1969-1978.

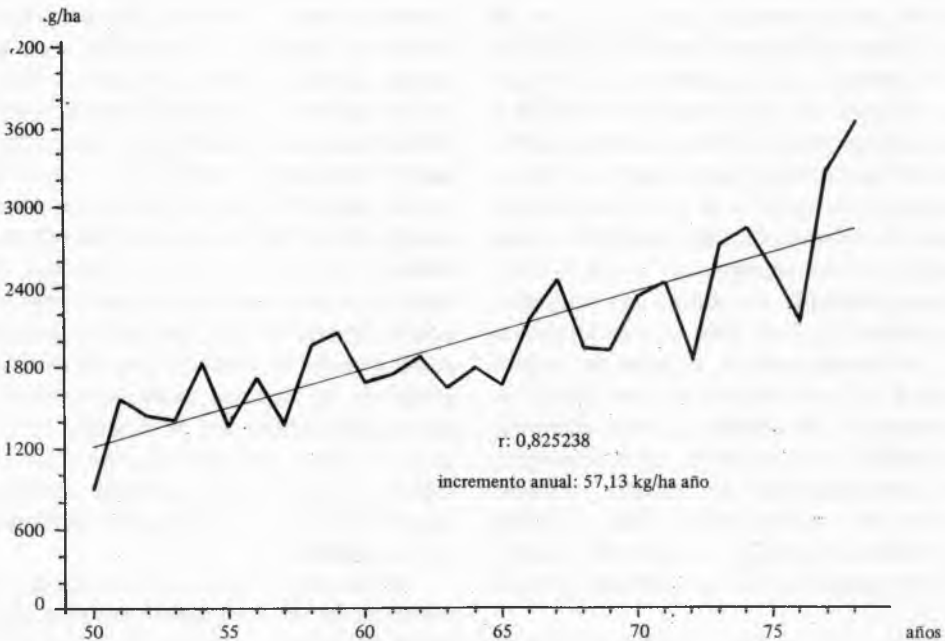
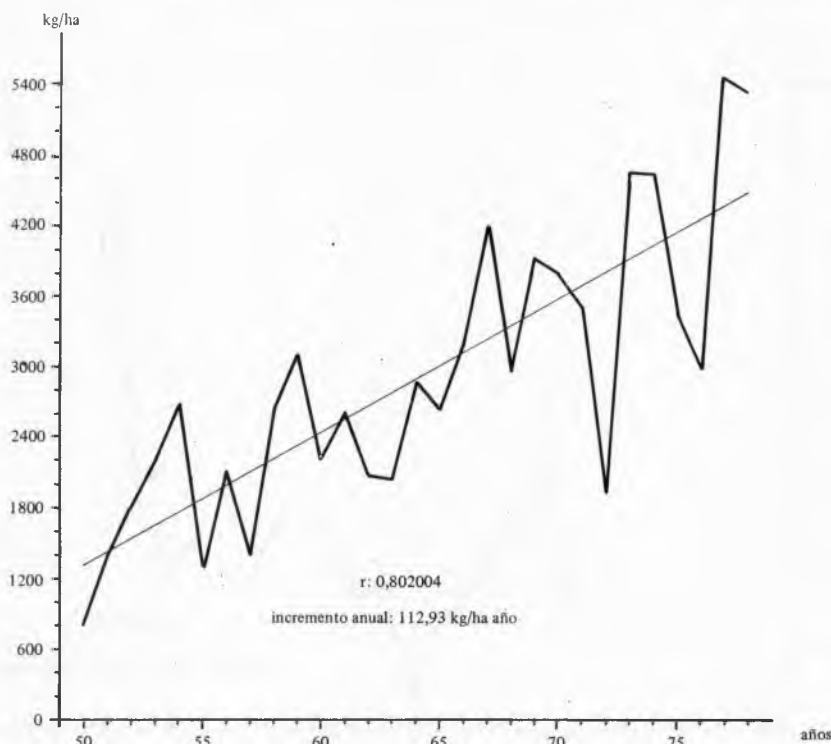


Figura 2: Evolución de los rendimientos de maíz en el partido de Pergamino. Período 1969-1978.



En las Figuras 1 y 2 puede observarse que, para el conjunto del país y para un partido típicamente maicero, como el de Pergamino, la tendencia en el aumento de los rendimientos es pareja y arranca en 1950, lo cual se refleja en altos coeficientes de correlación (r), y en que la dispersión de valores alrededor de la recta de ajuste es moderada. Esto puede atribuirse a que en las condiciones ambientales consideradas no se manifiestan efectos limitantes, y por lo tanto no se registran fluctuaciones marcadas por encima o por debajo de la tendencia general, de manera que promedios de cinco años tendrían cierto grado de confiabilidad.

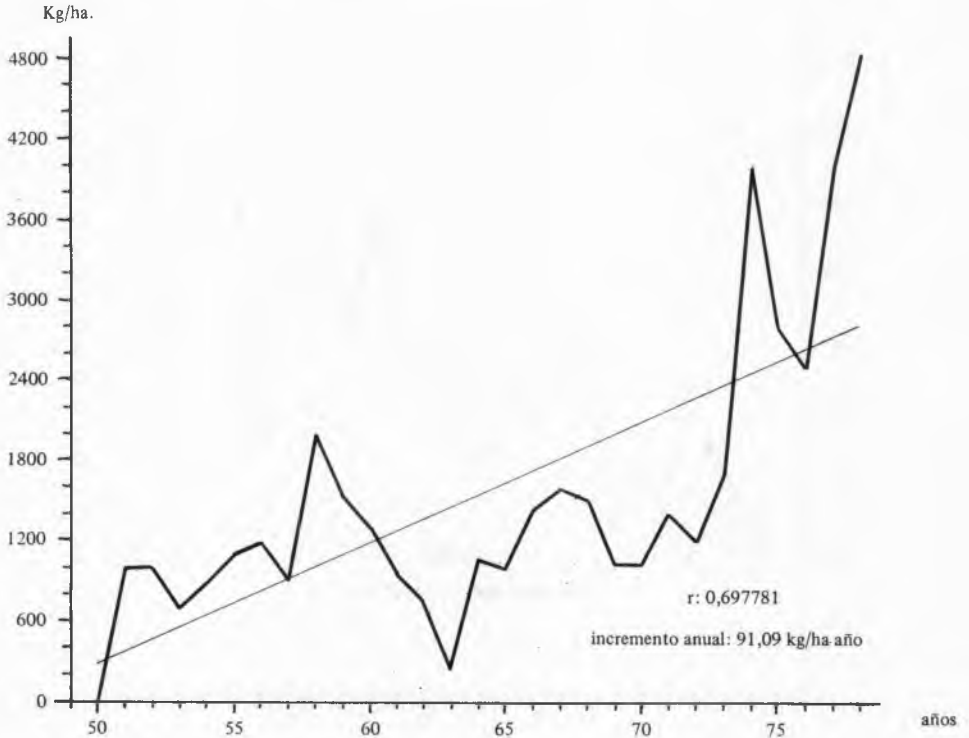
Por el contrario, en un partido como el de Trenque Lauquen, donde las condiciones ambientales son a menudo limitantes, la dispersión de valores alrededor de la recta de

ajuste es más notable, pudiendo detectarse a simple vista la existencia de lapsos con valores significativamente por encima o por debajo de la tendencia general, por lo que la utilización de promedios de menos de diez años resulta poco aconsejable, tal como se observa en la Figura 3.

Una vez computados los promedios 1969-78 se efectuó un análisis de consistencia de los mismos, dividiendo la región maicera en zonas de distintos niveles de rendimientos a fin de poner de manifiesto posibles irregularidades en su distribución geográfica que no pudieran ser explicadas en función de las variables causales propuestas.

Esta zonificación (Fig. 4) puso de manifiesto una notable regularidad en la gradación de los rendimientos desde la zona de mayor nivel hacia las de menores niveles. Las

Figura 3: Evolución de los rendimientos medios de maíz en el partido de Trenque Lauquen.
Período 1969-1978.



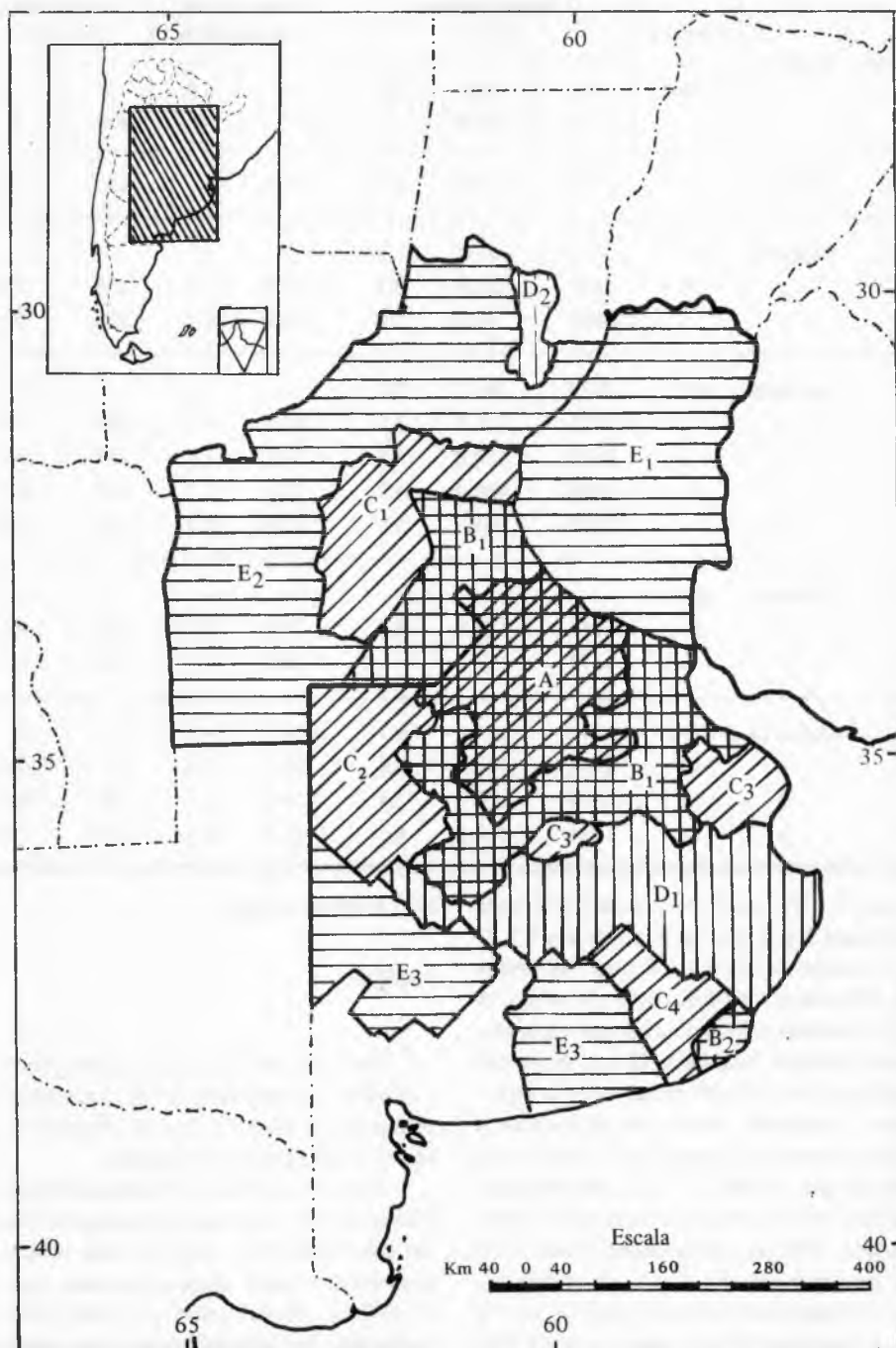
zonas determinadas presentan una gran homogeneidad, al punto de que en ningún caso el coeficiente de variabilidad del promedio zonal (promedio de los promedios departamentales que integran la zona) excede el nivel del 10%. Esto permitió someter a las diferencias de rendimientos entre las distintas zonas al test de Student, comprobándose que en todos los casos se trataba de diferencias significativas para el nivel del 5%, por lo menos.

Esto último indica que la disminución de los rendimientos desde la zona de mayor nivel hacia las de menores niveles, si bien es muy regular, no sigue un gradiente uniforme, sino que se produce a través de una serie de saltos o escalones, lo cual puede relacionarse con el efecto de la aptitud edáfica, ya que los límites entre los distintos tipos de suelos

son mucho más nítidos que entre los distintos tipos de climas.

No obstante, debe destacarse que las zonas determinadas sólo son homogéneas en lo que respecta a los rendimientos, presentando diferencias climáticas internas notables (Cuadro 1), razón por la cual algunas de las mismas fueron divididas en subzonas homogéneas desde el punto de vista de los dos índices utilizados por De Fina (1950) para caracterizar las condiciones estivales: la temperatura media del mes más cálido y la precipitación del trimestre más cálido. Las subzonas así delimitadas son muy homogéneas con respecto a ambos índices agroclimáticos, y ponen en evidencia cómo diferentes disponibilidades climáticas producen rendimientos semejantes debido a la interacción de variables de otra naturaleza. Por ejemplo: zona B,

Figura 4: Zonificación por rendimiento en la Región Maicera Argentina. Período 1969-1978.
(Ver cuadro 1)



CUADRO 1: Zonificación por rendimientos en la Región Maicera Argentina. Período 1969-1978.

Zona	Subzona	Número de Dptos.	Rendimientos 69/78			Temp. media mes más cálido		Precipit. trim. más cálido	
			x kg/ha	SD kg/ha	CV %	x °C	CV %	x mm	CV %
A	Cbnjunto	24	3736	184,0	4,9	23,4	1,0	281	6,0
B	Conjunto	30	3154	219,7	7,0	-	-	-	-
	1	28	3167	221,3	7,0	23,4	1,6	259	9,1
	2	2	2965	30,4	1,0	19,7	0,7	207	2,4
C	Conjunto	19	2572	156,4	6,1	-	-	-	-
	1	4	2522	222,7	8,8	23,9	0,5	299	5,6
	2	6	2542	189,0	7,5	24,2	1,7	258	4,3
	3	6	2615	110,9	4,2	22,5	1,2	221	6,5
	4	3	2613	101,8	3,9	20,4	1,0	222	8,8
D	Conjunto	17	-	-	-	-	-	-	-
	1	16	2157	132,0	6,1	21,5	3,1	219	4,9
	2	1	2178	-	-	25,5	-	365	-
E	Conjunto	39	1706	155,8	9,1	-	-	-	-
	1	14	1609	136,1	8,4	25,3	2,0	294	12,5
	2	14	1788	132,4	7,4	24,4	3,3	297	10,0
	3	11	1724	150,1	8,7	21,7	6,9	208	7,9

subzonas 1 y 2; zona C, subzonas 2 y 4; zona D, subzonas 1 y 2; y zona E, subzonas 1 y 3.

Siguiendo el criterio de poner de manifiesto diferencias significativas, la delimitación de zonas se restringió a las que presentaban límites bien definidos. El hecho de que se trabajara con rendimientos a nivel departamental imprimió cierta discontinuidad a los límites zonales, a pesar de lo cual puede percibirse que se trata de áreas concéntricas, en las que los rendimientos disminuyen hacia el exterior. Tres aparentes excepciones a esta regla, las subzonas B2, C4 y D2 corresponden al restablecimiento de condiciones de suelo y topografía favorables, fuera del gradiente general de variación de las mismas.

B - Factores causales

1. Clima

El efecto del clima se analizó a través de variables representativas de los regímenes térmico y pluviométrico, del balance hidrológico y del régimen de heladas.

Para caracterizar el régimen térmico se utilizaron las temperaturas mensuales medias del mes más frío y del mes más cálido y la temperatura anual media, mientras que para el régimen pluviométrico se emplearon los promedios correspondientes a los trimestres de primavera, verano y otoño.

El balance hidrológico se computó por el método de Thornthwaite y Mather (1957) para una lámina de 300 mm, efectuándose, además, una modificación consistente en introducir valores de evapotranspiración potencial calculados por la fórmula de Penman (1948), cuya mayor bondad de estimación había podido comprobarse en un trabajo anterior (Sierra y Pórfido, 1978).

El régimen de heladas se caracterizó a través del período medio libre de heladas, tomado como estimador de la duración máxima del ciclo del cultivo en una localidad dada. Los valores fueron calculados por medio de una fórmula de regresión que se derivó de los valores computados por Burgos (1963), a fin de poder introducir en el análisis los datos correspondientes a otras localidades. La fórmula permite calcular el período medio libre de heladas (PMLH) de un lugar en función de la temperatura anual media (TAM) y de la amplitud térmica anual (ATA), correspondiéndole un coeficiente de correlación múltiple de 0,93 y un error de estimación de $\pm 11,8$ días.

$$\text{PMLH(días)} = 224 + 13,6 \text{ TAM} - 13,2 \text{ ATA}$$

La información climática necesaria se extrajo de las Estadísticas Climatológicas

1941-50 y 1951-60, y de los Datos Pluviométricos 1921-50 del Servicio Meteorológico Nacional, y la publicación Datos Agroclimáticos de la República Argentina (De Fina, 1978) se utilizó para la selección de localidades representativas de los distintos partidos y departamentos.

Diversas combinaciones de las variables mencionadas fueron integradas en la formulación de un índice poniendo de manifiesto el efecto directo del clima sobre el crecimiento del cultivo (ICD).

2. Suelos

Según se expuso en Introducción, las clasificaciones de suelos por aptitud agrícola corresponden a un nivel de resolución mucho mayor que el apropiado para la interpretación de promedios departamentales, siendo necesario contar con una clasificación de suelos que permitiera caracterizar la aptitud media del suelo dentro de un área relativamente grande en forma cuantitativa.

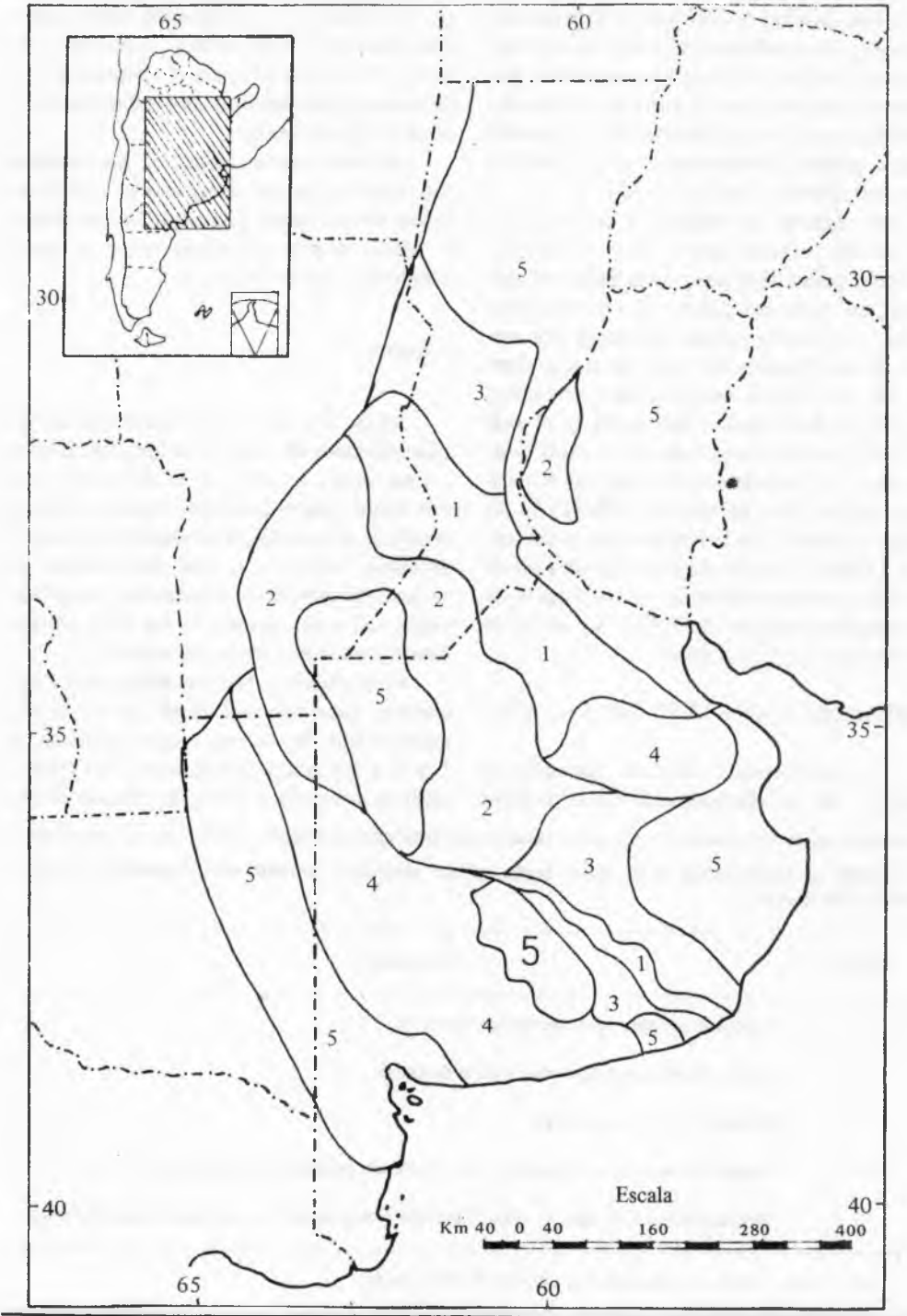
Este problema fue resuelto gracias a una comunicación personal de M. Conti (1) asignando valor, según una escala numérica de 1 a 5, a los suelos que figuran en el mapa a nivel de suborden confeccionado por Etche-

CUADRO 2: Clasificación de los suelos según aptitud agrícola. (Comunicación personal M. Conti, 1979) (Ver figura 5).

Aptitud	Descripción
1	Suelos de pradera sin mayores limitaciones.
2	Suelos de pradera con exceso o falta de arcilla.
3	Moderados excesos de agua.
4	Moderados excesos de agua o/y sodio. También aparición de planchas de tosca.
5	Severos excesos de agua y sodio. También planchas de tosca cercanas a la superficie.

(1) Marta Conti, Profesora Adjunta de la Cátedra de Edafología.

Figura 5: Aptitud agrícola de los suelos. (Conti, 1979). (Ver cuadro 2)



vehere (INTA, 1971). El valor de 1 corresponde a los mejores suelos y el de 5 a los peores, considerándose que la división en cinco categorías es la más apropiada para el análisis de datos departamentales. En el Cuadro 2 y Figura 5 pueden observarse los datos correspondientes a la aptitud edáfica así cuantificada, cuyos valores fueron introducidos en el análisis como índice de aptitud edáfica (IAE).

3. Enfermedades y plagas

La incidencia de plagas y enfermedades, aspecto sobre el cual se carece de datos cuantitativos adecuados, se estudió a través de la existencia de condiciones climáticas favorables, según lo expuesto en Introducción. Por lo tanto, fueron ensayadas varias combinaciones de variables climáticas con el objeto de formular un índice (ICI) que pusiera de manifiesto la acción indirecta del clima a través de su influencia en la aparición de plagas y enfermedades, en forma similar a lo propuesto en el mencionado informe de FAO (1978).

C - Selección de departamentos y partidos

No todos los departamentos y partidos pudieron ser introducidos en el análisis, dado que para poder hacerlo, los mismos debían reunir los requisitos de contar con información climática apropiada y de que fuera posible determinar claramente su tipo de suelo, debiendo descartarse los situados en zonas heterogéneas.

En el Cuadro 3 se enumeran los departamentos y partidos así seleccionados, que suman cincuenta, incluyendo dieciocho que no pertenecen a la zonificación pero que son centros agrícolas importantes, aunque no maiceros, o bien corresponden a situaciones agroclimáticas particulares.

D - Análisis estadístico

Con los datos disponibles se realizó un

análisis de correlación y regresión lineal múltiple, tomando los rendimientos departamentales como variable dependiente, y como variables independientes los índices de acción climática directa (ICD), de acción edáfica (IAE) y de acción climática indirecta a través del favorecimiento de la aparición de plagas y enfermedades (ICI), integrándose así la siguiente ecuación de regresión:

$$\text{Rend.} = a + b_1 \text{ ICD} + b_2 \text{ IAE} + b_3 \text{ ICI}$$

Donde b_1 , b_2 , y b_3 son los coeficientes angulares que cuantifican los efectos de los índices. La decisión de no emplear más de tres variables independientes obedeció a la necesidad de mantener concordancia con el número de casos que intervienen en el análisis y con el rango de condiciones abarcado (Baumann y Walver, 1966).

RESULTADOS Y DISCUSION

Al cabo de cierto número de intentos, introduciendo en el análisis el índice de acción edáfica y diversas variaciones de los índices de acción climática directa e indirecta, pudo explicarse el 87,3% (coeficiente de determinación) de las variaciones de rendimiento entre los cincuenta departamentos y partidos (cuadro 4). Dado que la información utilizada en el análisis presenta en sí misma cierto nivel de error, y la hipótesis de nivel tecnológico en equilibrio con las disponibilidades edáficas y climáticas está sujeta necesariamente a ciertas excepciones que constituyen otra fuente de error, se consideró que el restante 12,7% de variación se debe a estas causas, no justificándose buscar nuevas mejoras.

Si bien el índice de acción edáfica no requirió ajustes, bastando con revisar el tipo de suelos correspondientes a algunos departamentos y partidos por medio de las cartas confeccionadas a través del Plan Mapa de Suelos del INTA (1), en el caso de ambos ín-

(1) Labor realizada por Marta Conti.

CUADRO 3: Partidos y departamentos empleados en el análisis.

ZONA A			
Pergamino (Bs. As.)	Nueve de Julio (Bs. As.)	Junín (Bs. As.)	
ZONA B			
1	2		
Rosario (Sta. Fe) Mercedes (Bs. As.)	Gral. Pueyrredón (Bs. As.)		
ZONA C			
1	2	3	4
Unión (Cba.) Marcos Juárez (Cba.)	Rivadavia (Bs. As.) Gral. Villegas (Bs. As.) Pehuajó (Bs. As.)	Magdalena (Bs. As.)	Balcarce (Bs. As.) Tandil (Bs. As.)
ZONA D			
Las Flores (Bs. As.)	Dolores (Bs. As.)	Azul (Bs. As.)	
ZONA E			
1	2	3	
Villaguay (E. R.) Concordia (E. R.) Victoria (E. R.) La Paz (E. R.) Galeguaychú (E. R.) Paraná (E. R.) Uruguay (F. R.) Gualedguay (F. R.)	Río Segundo (Cba.) Río Cuarto (Cba.) Tercero Arriba (Cba.) Castellanos (Sta. Fe) Las Colonias (Sta. Fe) Pte. Roque Saénz Peña (Cba.) San Justo (Cba.) San Cristóbal (Sta. Fe)	Cnel. Suárez (Bs. As.) Guaminí (Bs. As.) Necochea (Bs. As.) Saavedra (Bs. As.)	
ZONA MARGINAL			
Norte	Oeste	Sur	
Vera (Ctes.)	Santa Rosa (La Pampa) Atreuco (La Pampa) Quemú-Quemú (La Pampa) San Javier (Cba.) Maracó (La Pampa) Guatraché (La Pampa)	Cnel. Pringles (Bs. As.) Bahía Blanca (Bs. As.) Tres Arroyos (Bs. As.) Laprida (Bs. As.) Villarino (Bs. As.) Patagones (Bs. As.)	

dices de acción climática fue necesario recurrir a un proceso iterativo para llegar a su formulación final. Dado que la enumeración de los pasos seguidos resulta imposible por falta de espacio sólo se incluye una síntesis del significado de cada índice.

El índice de acción climática directa (ICD) sobre el crecimiento del cultivo se integró finalmente en la siguiente ecuación:

$$\text{ICD} = \text{PMLH}(240) \cdot \frac{\text{ER}(\text{D-E-F})}{\text{EP}(\text{D-E-F})}$$

donde:

PMLH(240) es la duración en días del período medio libre de heladas hasta un máximo de 240 días, no considerándose efectivas las duraciones superiores.

ER (D-E-F) y EP (D-E-F) son, respectivamente, las medias geométricas de la evapotranspiración real y potencial para el trimestre que abarca los meses de diciembre, enero y febrero.

La utilización de cultivares de ciclo largo permite la obtención de mayores rendimientos, estando esto determinado por la duración del período medio libre de heladas, hasta un valor que luego de varios intentos pudo fijarse en aproximadamente 240 días, y por encima del cual los incrementos en esta variable dejan de traducirse en incrementos de rendimientos. Ello puede atribuirse por un lado a que el período de activo crecimiento de los cultivares de ciclo más largo difícilmente supere ese valor, y por otro a que las mayores duraciones corresponden a localidades con muy altas temperaturas estivales cuya negativa acción indirecta sobre el cultivo se hace muy manifiesta. Asimismo, el mencionado informe de FAO (1978) considera como áreas muy adecuadas para el maíz a aquellas que disponen de períodos de crecimiento entre 150 y 240 días.

La efectividad del crecimiento durante el período libre de heladas parece estar regulada fundamentalmente por la relación entre la cantidad de agua que pasa a través del cultivo (ER) y la cantidad que debería pasar para satisfacer la demanda atmosférica (EP), es decir por el cociente ER/EP, y no por los va-

lores absolutos de las variables. Como dicha relación puede ser igual o menor que uno, el resultado de multiplicarla por el valor del período medio libre de heladas es el de reducir a este último en proporción directa al valor del cociente ER/EP, de manera que el ICD puede definirse como la duración máxima efectiva del ciclo del cultivo en un lugar determinado.

Es interesante señalar que el período cuyo balance hídrico demostró mayor gravitación sobre el rendimiento del cultivo es el que abarca los meses de diciembre, enero y febrero, de acuerdo con lo observado por Zaffanella y Zaffanella (1960), no obstante lo cual debe destacarse que en la mayoría de las localidades existe una gran correlación entre las condiciones hídricas estivales y las primaverales u otoñales. Asimismo, resultó evidente el mejor ajuste logrado con los valores de balance hídrico computados con la EP calculada por la fórmula de Penman (1948), en comparación con la EP calculada por el método de Thornthwaite (1957).

La causa de la mayor gravitación de las condiciones hídricas durante el trimestre estival puede atribuirse a que durante el mismo tiene lugar el subperíodo crítico para el cultivo, que abarca aproximadamente un lapso que se inicia tres semanas antes de la floración y continúa durante las seis semanas posteriores a la misma (Denmead y Shaw, 1960).

Si se dispusiera de información fenológica actualizada, tal como la que figura en el trabajo de Pascale (1953), hubiera podido computarse el balance hidrológico para el lapso en que se produce el subperíodo crítico en cada lugar.

El índice de acción climática indirecta (ICI), destinado a expresar la existencia de condiciones favorables para la aparición de plagas y enfermedades, se formuló, después de varios ajustes, de la siguiente manera:

$$\text{ICI} = \frac{\text{TMC} \cdot \text{PTC}}{1000}$$

donde: TMC es la temperatura media del mes más cálido.

CUADRO 4: Análisis de correlación y regresión de los rendimientos medios del período 1969 - 1978, en función del índice de acción climática directa (ICD), del índice de acción edáfica (IAE) y del índice de acción climática indirecta (ICI).

Variables independientes consideradas	Ecuación de regresión				Correlación múltiple			Correlación parcial		
	Ordenada origen kg/ha	Coef. angulares			Coef. correl.	Coef. determ. %	Error estim. kg/ha	ICD	IAE	ICI
		ICD kg/ha	IAE kg/ha	ICI kg/ha						
ICD-IAE	3,078	4,90	-511,5	--	0,907	82,3	335,8	--	--	--
ICD-ICI	811	12,30	--	-127,6	0,623	38,8	623,7	--	--	--
IAE-ICI	4,118	--	-589,3	-0,7	0,862	74,2	404,8	--	--	--
ICD-IAE-ICI	3,393	7,90	-512,8	-130,8	0,934	87,3	287,1	0,713	0,890	0,533

PTC es la precipitación correspondiente al trimestre más cálido.

Aunque otras combinaciones, tomando por ejemplo la temperatura media del trimestre más cálido o la tensión de vapor media del mes más cálido, dieron resultados similares, se prefirió la expuesta por ser la más sencilla, figurando sus datos en la publicación de De Fina (1978) antes mencionada. La formulación de este índice permite comprobar la hipótesis, enunciada en Introducción, de que dos de las variables que más a menudo se utilizan para expresar las disponibilidades climáticas de un lugar, como es el caso de la temperatura y precipitación, presentan una significativa correlación negativa con el rendimiento del cultivo.

La ecuación de regresión que relaciona el rendimiento del cultivo, en kg/ha, con los efectos de los tres índices, tomados en forma adimensional es:

$$\text{Rend.} = 3393 + 7,94 \text{ ICD} - 512,8 \text{ IAE} - 130,8 \text{ ICI}$$

El coeficiente de correlación múltiple fue de 0,934 (cuadro 4), mientras que los coeficientes de correlación parcial correspondientes a las tres variables independientes fueron de 0,713 para el ICD, de 0,890 para el IAE y de 0,533 para el ICI, todos los cuales resultan significativos para el nivel del 1%.

Si bien resulta evidente que, al menos

dentro de la región en estudio, el factor individual de más peso es el suelo, debe tenerse en cuenta que las tres variables causales consideradas no son del todo independientes entre sí. Por el contrario, los mejores suelos pertenecen en general a zonas de condiciones climáticas favorables, de manera que el IAE expresa no sólo la aptitud edáfica, sino también buena parte de la aptitud climática. Por otro lado, los índices de acción climática directa e indirecta se superponen también en cierto grado, ya que el crecimiento del cultivo y la aparición de plagas y enfermedades responde en gran medida a los mismos estímulos.

Prueba de lo expuesto es el hecho de que los análisis de correlación y regresión considerando sólo dos variables independientes cada vez (Cuadro 4) dan resultados aceptables en todos los casos, si bien cuando se excluye el índice de acción edáfica el coeficiente de correlación múltiple disminuye mucho más que al excluir cualquiera de las otras dos variables causales.

Las ecuaciones de regresión se emplearon sólo para ilustrar la modalidad de acción de cada índice, por considerarse que la estimación de rendimientos estaba fuera de las posibilidades de la escala de trabajo adoptada, y porque ecuaciones lineales no se prestan para esa finalidad, debido a que las variables biológicas presentan

CUADRO 5: Comparación entre valores de rendimientos observados y los calculados en función de los índices formulados mediante la ecuación de regresión obtenida.

Zona o departamento	Índices			Rendimientos	
	ICD	IAE	ICI	Observados	Calculados
A	193	1,67	6,65	3.730	3.209
B ₁	210	1,75	6,67	3.355	3.282
B ₂	194	3,00	4,08	2.986	3.012
C ₁	152	2,00	7,30	2.567	2.834
C ₂	132	2,50	6,50	2.560	2.303
C ₃	207	3,50	4,37	2.716	2.662
C ₄	178	3,00	4,78	2.599	2.636
D ₁	179	3,66	4,88	2.147	2.292
E ₁	201	4,56	7,41	1.645	1.673
E ₂	163	3,40	7,46	1.797	1.950
E ₃	125	4,25	4,38	1.809	1.628
Vera	174	5,00	8,92	1.186	1.036
Guatraché	78	5,00	4,72	891	830
Bahía Blanca	65	5,00	3,07	940	940

casi siempre un umbral de acción, y un óptimo, superado el cual sus efectos cambian progresivamente de signo.

No obstante, los errores de estimación resultaron moderados, de manera que en el Cuadro 5 se volcaron los valores de rendimientos observados y calculados, correspondientes al promedio de los departamentos y partidos de cada zona que intervinieron en el análisis, y a tres departamentos o partidos representativos de las condiciones en la periferia de la región maicera, pudiendo observarse que, a pesar de las limitaciones expuestas, existe buena concordancia entre los valores observados y calculados. Es interesante señalar que el porcentaje de la variación de los rendimientos que no pudo ser explicado en función de los factores considerados fue del 12,7% (100 - Coeficiente Determinación, Cuadro 4), que es aproxima-

damente el valor porcentual de los mayores errores de estimación que figuran en el Cuadro 5, poniendo en evidencia la bondad del ajuste que pudo obtenerse mediante una sencilla ecuación lineal.

CONCLUSIONES

Los resultados y análisis expuestos permiten establecer la dependencia de los rendimientos en la región maicera argentina con respecto a la acción directa del clima sobre el crecimiento del cultivo, a la aptitud edáfica y a la acción indirecta del clima favoreciendo la aparición de plagas y enfermedades.

La hipótesis de que el nivel tecnológico está en equilibrio con las disponibilidades climáticas y edáficas puede también considerarse correcta, al menos para la escala de tra-

bajo utilizada, si bien se trata de un equilibrio dinámico que la evolución técnica puede modificar considerablemente.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a la Profesora Adjunta, Ing. Agr. Marta Conti, por su valiosa colaboración en el desarrollo de la escala de suelos utilizada en el análisis.

BIBLIOGRAFIA

- 1) Baumann, H. und Welter, E. 1966. Versuch einer statistischen Analyse der Beziehung Zwischen Witterung und Ertray mit Hiefe multipler Regressione. *Mitt. Deut. Wetterdienstes* 5(37): 1-22.
- 2) Burgos, J.J. 1963. Las Heladas en la Argentina. *Colección Científica del I.N.T.A.*, Buenos Aires, 1963, 369 pp.
- 3) De Fina, A.L. 1950. Sistema práctico para dividir el país en distritos agroclimáticos. *Revista de Investigaciones Agrícolas*, 4(4): 311-355.
- 4) De Fina, A.L. 1978. Datos Agroclimáticos de la República Argentina. Secretaría de Estado de Agricultura, I.N.T.A., Centro de Investigaciones de Recursos Naturales, Publicación N° 163, 187 pp.
- 5) Denmead, O.T. and Shaw, R.H. 1962. The effects of soil moisture stress at different stages of growth on development and yield of corn. *Agron. J.*, 52: 272-273.
- 6) Etchevehere, P.H. 1971. Mapa de suelos de la República Argentina, Sistema: 7° Aproximación - Suplemento 1967 y enmiendas 1968-69. I.N.T.A., Centro de Investigaciones de Recursos Naturales.
- 7) F.A.O. 1978. Report on the Agroecological Zones Report Project. Vol. 1, Methodology and Results for Africa. *World Soil Resources Report* 48, Rome 1978.
- 8) Klimgebiel, A.A. y Montgomery, P.H. 1958. Clasificación de las tierras por su capacidad de uso. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América. Memorandum N° 136 del Servicio de Conservación de Suelos.
- 9) Pascale, A.J. 1953. Mapa fenológico del maíz en la República Argentina. *Meteoros* 3(4): 383-394.
- 10) Penman, H.L. 1948. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proc. Roy. Soc. London(A)*, 193: 120-145.
- 11) Peters, T.W. 1977. Relationship of yield data to agroclimates, soil capability classification and soils of Alberta. *Can. J. Soil Sci.*, 57: 341-347.
- 12) Pizarro, J.B. 1979. Nivel Tecnológico de la producción de maíz en los departamentos Caseros - Constitución. I.N.T.A., E.E.R.A. Pergamino, *Informe Técnico* N° 128, 56 pp.
- 13) Sierra, E.M. y Pórfido, O.D. 1978. Evaluación comparativa de diversas fórmulas de evapotranspiración potencial. Presentado en el Tercer Congreso Nacional de Meteorología, Buenos Aires, octubre de 1978.
- 14) Sopher, Ch. D., McCracken, R.J. and Mason, D.D. 1973. Relationships between drouth and corn yields on selected South Atlantic coastal plain soils. *Agron. J.* 65: 351-354.
- 15) Thompson, L.M. 1963. Weather and technology in the production of corn and soybeans. *C.A.E.D. Rep.* 17, Iowa State University, Center for Agric. and Economic Develop.
- 16) Thompson, L.M. 1969. Weather and technology in the production of corn in the U.S. corn belt. *Agron. J.* 61: 453-456.
- 17) Thompson, L.M. 1970. Weather and Technology in the production of soybeans in the central United States. *Agron. J.* 62: 232-236.
- 18) Thornthwaite, C.W. and Mather, J.R. 1957. Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. *Publication in Climatology*, 10(3): 1-5.
- 19) Zaffanella, M.J. y Zaffanella, M.G. 1960. Rendimientos decrecientes del maíz en relación con factores edafoclimáticos. *IDIA*, 150: 38-39.