

Factibilidad del cultivo de papa de secano en la región central de la provincia de Córdoba (Argentina) basada en la evaluación agroclimática del riesgo de sequía

de la Casa. A.C., A.R. Rodríguez y G. Ovando

RESUMEN

Se investigó la posibilidad del cultivo de papa de secano en la región central de la provincia de Córdoba, Argentina, comparando su comportamiento con respecto al manejo tradicional bajo riego. Asimismo, fueron analizadas las diferencias de la información agroclimática obtenida entre los cálculos resueltos a partir de datos climáticos disponibles en estadísticas publicadas y la producida con los datos meteorológicos de cada campaña. Mediante el modelo YIELD se simula la fluctuación estacional en el uso del agua del cultivo de papa en siembras semitardías, analizando en particular las rutinas referidas a la Evapotranspiración Máxima (ETMax) y la Precipitación Efectiva (PPEfec). La rutina de PPEfec fue validada por medio de un modelo propuesto para un suelo Haplustol entico Serie Oncativo sometido a labranza convencional. La simulación del tratamiento de secano estima un 55% de ciclos improductivos y sólo 45% factibles, conformados por un 25% donde las limitaciones hídricas no son significativas y un 20% cuyas relaciones hídricas son menos confiables, lo que resulta en una predicción incierta (campañas 1969, 1975, 1983 y 1984). Aunque el coeficiente de variación de ETMax (9%) es menor que el de PPEfec (35%), la acción bioclimática que condiciona la posibilidad favorable del cultivo de secano resulta de la combinación apropiada de ambos factores. En este sentido, una diferencia entre ETMax y PPEfec mayor a 2 mm d⁻¹ para el promedio del ciclo, separa la combinación que determina años desfavorables de aquellos propicios.

Palabras clave: papa de secano, riesgo, sequía, modelo, Córdoba.

de la Casa, A.C., A.R. Rodríguez and G. Ovando, 1999. Rainfed potato feasibility in central region of Córdoba province (Argentina) based on agro-climatic drought risk assesment. Agriscientia XVI : 55-62.

SUMMARY

The feasibility of cultivating rainfed potato was determined and the agroclimatic drought risk level was quantified utilizing a mathematical model, with meteorological and climatic information from the central region of Córdoba province (Argentina). The YIELD model was employed with phenologic coefficients and with calculation routines corresponding to late planting potato crop. Maximum evapotranspiration (ETMax) and the effective rainfall (PPEfec) were especially assessed. Two types of variables were used: meteorological and site parameters. Meteorolog-

ical variables corresponded to Pilar station for 20 years of daily data, summarized in monthly values. Furthermore, the average cycle with climatic information of the total years was analyzed. The site parameters were taken in reference to regional soil conditions. The routine for PPEfec was validated against a model obtained for a soil entic Haplustol Oncativo Series under conventional tillage. Even though the corresponding result of the average cycle qualifies the region for rainfed cultivation, the individual consideration of each cycle shows a different behavior. The rainfed potato simulation indicated 55% (11) non productive cycles and only 45% (9) feasible, 25% of them presented little stress but in 20% the hydro-logic relations were less exactly determined. Although the Variability Coefficient for ETMax (9%) is less than the Variability Coefficient for PPEfec (35%), their bi-climatic combination determined the feasibility of cultivating rainfed potato. A mean difference greater than 2 mm d⁻¹ between ETMax and PPEfec indicates the dividing line between favorable and unfavorable crop cycles.

Key words: rainfed potato, risk, drought, model, Córdoba province.

de la Casa, A.C., A.R. Rodríguez y G. Ovando. Climatología Agrícola, Dpto. Recursos Naturales, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba. C.C. 509, 5000 Córdoba. E-mail: delaca-sa@agro.uncor.edu

INTRODUCCIÓN

El cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) en la provincia de Córdoba se realiza principalmente en las áreas bajo riego, totalizando 20.000 ha anuales, de las cuales el 40% se lleva a cabo en el Cinturón Verde de la ciudad de Córdoba y zonas aledañas (Lanfranconi, 1986; Lanfranconi *et al.*, 1987). En el 90% de la superficie plantada se emplea el cultivar Spunta, de origen holandés y ciclo intermedio.

La región ofrece la posibilidad de dos épocas de cultivo: la semitemprana (desde agosto a diciembre) y la tardía (desde febrero a junio), cuyos rendimientos medios bajo riego oscilan entre 20 y 22 Mg ha⁻¹ y de 15 a 17 Mg ha⁻¹ respectivamente (Lanfranconi *et al.*, 1997). En base a la superficie cultivada y su productividad media, la provincia se ubica como la segunda productora a nivel nacional,

Los rendimientos obtenidos en secano presentan oscilaciones muy grandes, entre 5 y 15 Mg ha⁻¹ (Fontan, M., comunicación personal), como consecuencia de la marcada variabilidad interanual de las precipitaciones. Algunos ensayos de secano, complementados por condiciones agrometeorológicas favorables, han inducido a implementar esta alternativa de producción en campos alejados del área con disponibilidad de riego y dedicados tradicionalmente a cultivos extensivos de granos.

Para establecer la aptitud potencial de una región respecto de un cultivo o práctica cultural, además de los métodos tradicionales de zonificación agroclimática, existe la posibilidad de aplicar la metodología de modelación de cultivos.

La literatura presenta una diversidad de modelos de simulación del rendimiento de papa. Algunos de ellos siguen principios mecanicistas o funcionales muy consistentes desde el punto de vista del proceso biofísico, como es el caso del modelo SUBSTOR-papa V2.0 (Griffin *et al.*, 1993). Sin embargo, la gran cantidad de parámetros involucrados en su estructura supone un importante esfuerzo de calibración y verificación, que una vez realizado limita la posibilidad de su proyección regional. Por otra parte, existen herramientas predictivas de mayor capacidad exploratoria, aunque menos dúctiles para reflejar condiciones altamente específicas. De cualquier modo, todo modelo que simule el rendimiento del cultivo de papa debe incluir funciones que cuantifiquen el efecto del estrés hídrico sobre el crecimiento (Jefferies & Heilbronn, 1991).

La línea de investigación con modelos matemáticos presenta un doble perfil complementario (Thornley, 1976). Por una parte ofrece la posibilidad de estudiar el comportamiento de un sistema productivo, accediendo en forma paulatina y gradual a su comprensión integral. Por la otra, a medida que se va obteniendo progreso con la incorporación a la simulación de mayor conocimiento biofísico, existe la alternativa de aplicar la metodología de manera tentativa con el propósito de obtener información agroclimática preliminar, sobre problemas específicos en respuesta al riesgo climático (Muchow *et al.*, 1991). A través de estas determinaciones se pueden evaluar con un costo muy reducido el impacto económico de prácticas agronómicas alternativas o complementarias, o juzgar la potencialidad de una región frente al riesgo climático dominante (Sadvie *et al.*, 1990).

Al considerar de manera integrada el complejo clima-suelo-planta, es posible evaluar el efecto de los elementos del clima en cada sitio a través de sus particulares combinaciones, rescatando una multiplicidad de interacciones ocultas en las condiciones medias. En este sentido, la determinación de la aptitud territorial suele estar basada en información climática disponible en forma de estadísticas elaboradas, las cuales por lo general impiden conocer su variabilidad implícita. Por lo tanto, el efecto consecuente sobre el sistema o proceso analizado resulta inadvertido.

Se investiga la posibilidad del cultivo de papa de secano en la región central de la provincia de Córdoba, que incluye el área del Cinturón Verde de la ciudad capital. Resulta de interés determinar las diferencias que se producen en los valores de la Evapotranspiración Máxima para establecer requerimientos de agua, entre los cálculos realizados a partir de valores climáticos normales y los registrados cada campaña.

MATERIALES Y MÉTODOS

Fue empleado el modelo de computación paramétrico denominado YIELD, a los efectos de simular la fluctuación estacional en el uso del agua del cultivo de papa. Con este propósito fueron utilizados coeficientes fenológicos y las rutinas de cálculo correspondientes al cultivo de papa tardía, analizando en particular aquellas relacionadas con el riego y el consumo de agua. La descripción completa del modelo y su validación fue presentada por Burt *et al.* (1980, 1981) y Hayes *et al.* (1982a, b). Los submodelos relacionados con la irrigación y la evapotranspiración fueron evaluados en una serie de análisis de sensibilidad (Ter-

jung *et al.*, 1982, 1983) y en estudios regionales (Terjung *et al.*, 1984a, b).

En Córdoba se utilizó este modelo desde 1992 para monitorear campañas de papa semitemprana y tardía. A partir de estas experiencias se obtuvieron las siguientes acumulaciones de sumas térmicas, procesadas con el método residual tomando como temperatura base 4,5 °C, con el propósito de representar el ciclo de cultivo de la variedad Spunta en 4 subperíodos:

Plantación-Desarrollo vegetativo: 202 °C

Desarrollo vegetativo-Comienzo de tuberización: 420 °C

Comienzo de tuberización-Crecimiento del tubérculo: 970 °C.

Crecimiento del tubérculo-Maduración: 1298 °C.

Los datos de entrada requeridos por el modelo son de dos tipos: elementos meteorológicos y parámetros relativos al sitio. Los elementos meteorológicos corresponden a 20 años de datos diarios de la estación Pilar (SMN, 1991) del Servicio Meteorológico Nacional (31° 40' S, 63° 53' W y 338 m.s.n.m), presentados en valores mensuales. Dicha información es considerada representativa del área central de la provincia de Córdoba.

Se requieren para la corrida del modelo los siguientes elementos del clima (Tabla 1): Radiación global (QAQM), Nubosidad (NM), Temperatura Máxima (TMX), Temperatura Mínima (TMN), Humedad Relativa Máxima (RMX), Humedad Relativa Mínima (RMN), Precipitación (PPM), Número de días con Precipitación (PBM) y Velocidad del Viento (V24). Estos datos permitieron simular un conjunto de 20 campañas tardías, desde el año 1968 hasta el año 1987. Además

Tabla 1. Elementos meteorológicos y climáticos requeridos para correr el modelo YIELD. Listado empleado para obtener el "ciclo tardío promedio".

Mes	QAQM cal cm ² d ⁻¹	NM %	TMX °C	TMN °C	RMX %	RMN %	PPM mm	PBM n	V24 km h ⁻¹
Ene	536	46	30,5	17,8	95	46	142,2	9	11
Feb	487	46	28,9	16,6	98	48	111,8	8	10
Mar	397	46	26,6	15,0	99	51	104,1	8	10
Abr	319	44	23,9	11,7	99	48	61,0	6	10
May	239	51	21,1	8,9	99	48	17,8	3	11
Jun	197	51	17,2	5,0	98	47	15,2	3	11
Jul	215	48	17,8	5,0	99	45	17,8	2	12
Ago	278	44	19,4	5,6	92	38	10,2	2	13
Set	374	44	22,2	8,3	89	36	40,6	4	15
Oct	456	46	25,0	11,7	91	39	58,4	6	16
Nov	528	45	27,2	14,4	90	41	101,6	9	15
Dic	533	45	29,4	16,6	92	43	147,3	10	12

Tabla 2. Parámetros edáficos regionales empleados en la simulación.

Parámetro	Nombre	Valor asumido
Tipo de suelo	(ISOIL)	textura media
Capacidad de retención	(ASOILW)	140mm/m
Tamaño del campo	(IHECT)	1 Ha (Elimina efecto oasis)
Eficiencia de lixiviación	(ILEFF)	1 (Sin restricciones)
Método de riego	(ILR)	Superficial
Pendiente	(ISLOP)	Terreno plano (Sin limitaciones)
Eficiencia del proyecto de riego	(IEFFIC)	0,5
Profundidad del agua subterránea	(IGWDEP)	8 m (sin limitaciones)
Calidad del agua de riego	(IECW)	0,62 mmhos/cm (normal)
Relación de velocidad del viento (día/noche)	(RATIO)	2:1

se analizó el ciclo tardío promedio con la información procesada a partir del total de años disponibles. La tabla 1 muestra para el "ciclo tardío promedio", el listado con los datos climáticos que se aplicaron.

Los parámetros de sitio (tabla 2) correspondieron a las características propias del área de estudio tomados en referencia a las condiciones edáficas regionales que constan en la carta de suelos para la serie Oncativo (Plan Mapa de Suelos, 1987). Aparte de la condicionante climática, estos suelos no presentan otros impedimentos que limiten el crecimiento de las plantas.

Con algunas modificaciones y adiciones necesarias a los efectos computacionales, YIELD incorpora los métodos de Doorembos y Pruiitt (1977) y Doorembos y Kassam (1979) para establecer necesidades de agua y cuantificar el efecto del estrés hídrico sobre el rendimiento de papa. En particular, fue establecida una intensidad límite de estrés hídrico que conduce a la interrupción del ciclo cuando el consumo acumula un valor inferior al 60% de la ETMax.

Se computó el consumo de agua acumulado por el cultivo en base al método de Evapotranspiración Potencial de Penman, modificado para considerar el efecto del tipo de cultivo, subperíodo de desarrollo, variaciones del Kc en distintos regímenes climáticos, efecto oasis o tendadero, precipitación efectiva, pérdidas por percolación y eficiencia de riego.

Se estableció como día de plantación el 50 (20 de Febrero), adoptando un paso de tiempo DT: 2 (un resultado cada 2 días), con la finalidad de mejorar la sensibilidad en el cómputo durante los períodos críticos.

El Rendimiento Potencial (YMP) se calculó por el método propuesto por Feddes *et al.* (1978), si bien otras metodologías posteriores pueden resultar mas

apropiadas (MacKerron & Waister, 1985). Dejando de lado el objetivo de su determinación en particular, la relación YA1/YMP [Rendimiento estimado/Rendimiento potencial], sólo fue empleada como parámetro indicativo de comparación respecto a la situación de desequilibrio hídrico presente.

Con el propósito de establecer una validación regional del módulo de cálculo de la Precipitación Efectiva (PPEfec), los valores estimados por el modelo YIELD fueron correlacionados con los obtenidos a partir de un procedimiento formulado regionalmente que sigue la metodología del balance hidrológico versátil (Dardanelli *et al.*, 1991).

Fueron simuladas dos situaciones contrastantes con respecto al manejo del riego. La primera (i) se estableció para asegurar que el Rendimiento Estimado (YA1) fuese similar al Potencial (YMP), asignando una frecuencia de reposición completa de agua cada 21 días. En la otra (ii) la rutina de riego fue suprimida por completo. La estrategia de riego consideró su aplicación siempre que superado un lapso de 21 días, el contenido de agua del suelo estuviese por debajo de un umbral crítico.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se presentan los resultados obtenidos a partir de información correspondiente al ciclo promedio, estableciendo las diferencias que surgen del análisis meteorológico de las 20 campañas individuales. Estos resultados están contenidos en la tabla 3.

a) Régimen Térmico

Con una temperatura de 18,3 °C, el ciclo de cultivo promedio tiene una extensión de 96 días. Dado

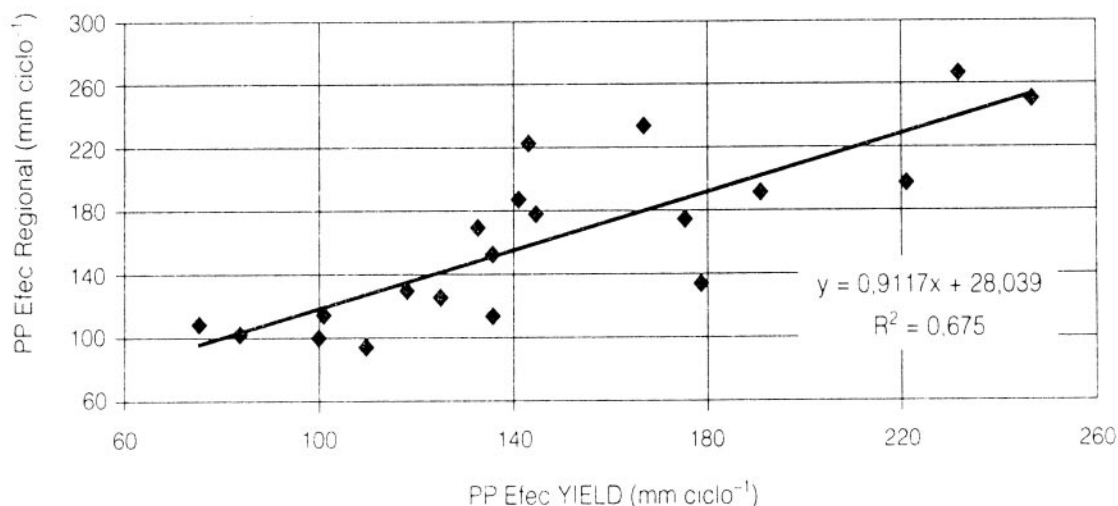


Figura 1. Diagrama de dispersión y recta de ajuste entre los respectivos valores de precipitación efectiva obtenidos mediante el modelo YIELD y un modelo propuesto para la región.

que la fenología del cultivo es aproximada por el método de suma de temperaturas, la extensión del ciclo se ve modificada en función de la disponibilidad térmica, produciendo una diferencia extrema de 40 días entre las campañas más frías (1971 y 1976) y la más cálida (1970). En el 75% de los casos analizados, la temperatura media del ciclo estuvo, al igual que en el caso promedio, dentro del rango bioclimático de temperaturas óptimas de crecimiento, entre 16 °C y 20 °C (Feddes *et al.*, 1978); en el 10% de ellos la temperatura fue inferior, originando ciclos más largos (120 días), y en el 15% restante la temperatura media ocurrió por encima de 20 °C, dando lugar a ciclos muy cortos (80 días) que afectan el Rendimiento Potencial (YMP).

Los ciclos de 120 días de las simulaciones de 1971 y 1976, se hubieran visto afectados por heladas tempranas un mes antes de su finalización, disponiendo sólo de 90 días para la producción.

Ingram y McCloud (1984) han determinado que las funciones de respuesta térmica son diferentes para hojas, raíces y tubérculos. Sin embargo, dado el alcance regional perseguido, se consideró suficiente el ajuste fenológico obtenido a partir de una función biotérmica general con una temperatura base única.

Aunque la extensión media del ciclo de la variedad Spunta que cita la bibliografía es de 110 días (Lanfranchi *et al.*, 1997), los ensayos a campo ponen de manifiesto una gran variabilidad, siendo particularmente difícil unificar el criterio para establecer el momento de su finalización. La misma fuente determinó en la re-

gión central bajo riego para la modalidad semitemprana una duración del ciclo de 114 días en 1993 y 95 días en 1994, en ambos casos dentro del amplio rango de variación que simula el modelo.

b) Régimen Hídrico

i) *Evapotranspiración máxima (ETMax)*: El valor promedio de evapotranspiración máxima es de 3,3 mm d⁻¹ ciclo⁻¹. No obstante, en los 20 años del estudio el valor mínimo fue de 3,0 mm d⁻¹ ciclo⁻¹ (1981) y el máximo de 4,0 mm d⁻¹ ciclo⁻¹ (1969). El rango de la ETMax de 96 mm ciclo⁻¹, expresa una variabilidad que puede ser significativa aquellos años con valores de evapotranspiración potencial elevados y lluvias escasas, o cuando se produce la combinación opuesta, destacando la ausencia de correlación entre ambas variables (figura 2). El ciclo de 1981 (de mayor precipitación) no requirió del riego para mantener el rendimiento potencial (YMP), presentando la menor demanda atmosférica de agua. Esta combinación constituye la manifestación más favorable del complejo climático. Se advierte, en general, que una menor demanda climática permite, al menos, reducir la frecuencia de riegos, justificando las prácticas que conducen a atenuar la demanda atmosférica de agua (antitranspirantes, aspersión, etc).

ii) *Precipitación efectiva*: En la figura 1 se aprecia la relación entre la PPEfec estimada por YIELD para el ciclo completo y el valor propuesto por un modelo calibrado para la región (Dardanelli *et al.*, 1991). El ajuste establecido es significativo [F(1,18)= 37,39; p<0,00001; Error Estándar de Estimación = 31,1 mm]

y pone de manifiesto el aceptable comportamiento predictivo del algoritmo que incorpora el modelo YIELD para este propósito. También abre la posibilidad de emplear alternativamente la función estimativa de la Precipitación Efectiva local.

Mientras que para el ciclo promedio PPEfec aporta el 50% del consumo bajo riego, los casos individuales presentan la distribución de frecuencia que muestra la tabla 3. En 10 oportunidades la relación presenta un valor inferior al 45%, y sólo en un caso la contribución de la lluvia efectiva es superior al 75%.

iii) *Número de riegos*: El modelo establece 4 oportunidades de riego para la condición promedio, con un rendimiento estimado del orden del 99% de YMP. La distribución de frecuencia de la variable "número de riegos", que tiene un rango entre 0 y 5, se presenta en la tabla 3 para los 20 casos. Si bien la frecuencia de un riego cada 21 días no conduce en todos los

casos a la obtención de YMP, permite reflejar aceptablemente la situación de productividad del sistema bajo riego respecto a la situación de secano.

c) *Frecuencia de condiciones favorables para el cultivo de secano*

Si bien el resultado correspondiente al ciclo promedio permite calificar a la región como apta para el cultivo de secano, recibiendo el principal impacto de estrés hídrico en el subperíodo de formación de la cosecha, la consideración por separado de cada campaña muestra un comportamiento distinto. El tratamiento de secano resulta en un 55% (11) de ciclos abortados y sólo 45% (9) de ciclos productivos factibles.

El análisis de los 9 ciclos factibles, permite establecer la frecuencia por intervalos de la relación en-

Tabla 3. Resultados para la evaluación de la práctica de papa tardía de secano a partir de datos climáticos (media) y meteorológicos (corrida de cada año).

Parámetro agroclimático	Media	Corrida de cada año						
		Intervalos de Frecuencia						
Temperatura media [°C]	18,3	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	20-21	>21
		2	3	4	4	4	2	1
Longitud del ciclo [d]	98	80-85	86-90	91-95	96-100	101-105	106-110	> 110
		3	4	1	5	2	3	2
ETMax (mm)	3,3	<3,0	3,0-3,19	3,2-3,39	3,4-3,59	3,6-3,79	3,8-4,0	> 4,0
		1	7	2	5	2	3	0
Nº de riegos c/21 días	4	0	1	2	3	4	5	6
		1	0	3	6	8	2	0
PPEfec/Consumo [%]	50	25-34	35-44	45-54	55-64	65-74	75-84	>85
		5	5	3	3	3	0	1
Consumo/ETMax [%]	67	≤60	61-70	71-80	81-90	91-100		
		11	4	3	1	1		
Factibil. de secano [%] YA1/YMP	80	≤57	58-68	69-79	80-90	91-100		
		11	2	1	3	3		

ETMax: Evapotranspiración Máxima diaria promedio; **PPEfec/Consumo:** Relación entre la Precipitación Efectiva y el Consumo estimado; **YA1/YMP:** Relación entre el rendimiento estimado y el Potencial; **Consumo/ETMax:** Relación entre el Consumo estimado respecto a la Evapotranspiración Máxima.

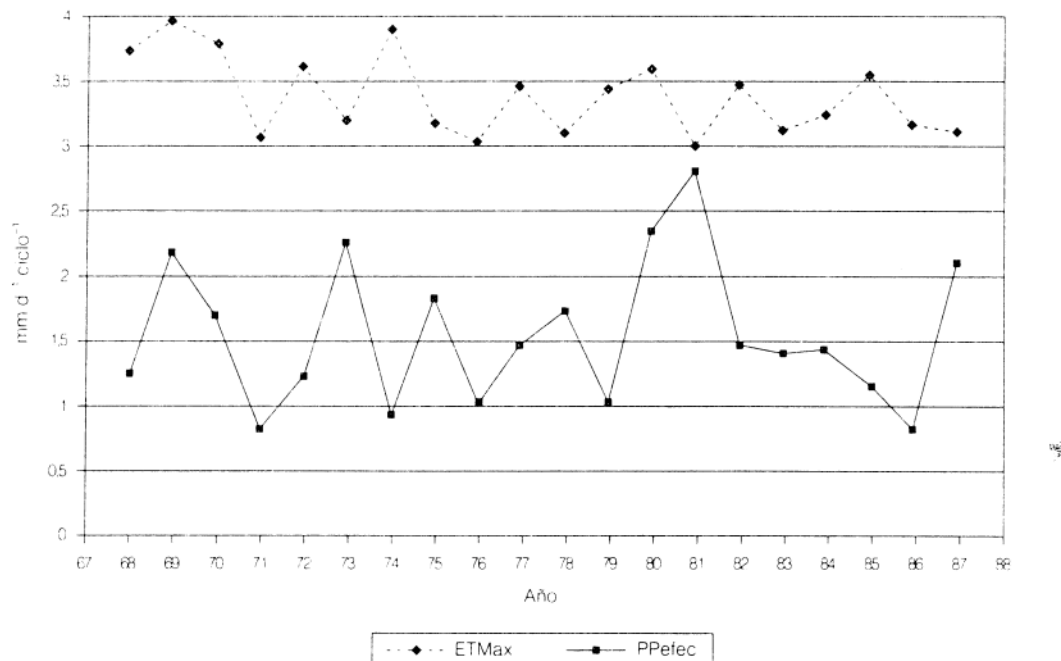


Figura 2. Variación conjunta de ETMax y PPEfec diarias correspondiente a los 20 ciclos

tre el Rendimiento Estimado y el Potencial (YA1/YMP), para evaluar en cada caso la disminución causada por el estrés hídrico (tabla 3).

Este resultado contradice al obtenido con la información promedio, según la cual no existe ningún impedimento. De los 9 ciclos de secano propicios, 6 manifiestan un rendimiento mayor al 80% del YMP y en 3 casos el rendimiento se ve reducido entre el 50 y 70% del potencial. Por otra parte, teniendo en cuenta la condición hídrica registrada en cada una de estas campañas por medio del índice [Consumo estimado/ETMax], en 4 de los ciclos factibles el valor de esta relación estuvo comprendida entre 60 y 70%, mostrando una disponibilidad hídrica apenas suficiente.

El método que pondera la sensibilidad de los períodos críticos a la falta de agua pierde precisión cuando la disponibilidad hídrica del suelo es muy limitada (Doorembos y Kassam, 1979). Aceptando que la contabilidad de las relaciones que ponderan el efecto del estrés hídrico decrece a medida que el nivel de humedad disponible también lo hace, cuatro de los casos favorables ofrecen menor certeza.

Dicho de otra manera, respecto del total de años evaluados el 55% resulta improductivo, el 25% no

presenta limitaciones hídricas significativas para la práctica de secano, y para el 20% de ellos (campañas 1969, 1975, 1983 y 1984) las relaciones hídricas son menos confiables, lo que incrementa la incertidumbre de la información producida. Es probable que para mejorar la predicción en esta franja sea necesario establecer ensayos con tratamientos que analicen situaciones de sequía extrema.

La figura 2 exhibe la variación conjunta de ETMax y PPEfec, ponderadas por la duración del ciclo a los efectos comparativos. Además de la falta de correlación entre ambas, se aprecia que si bien ETMax (CV = 9%) presenta menor variabilidad que PPEfec (CV = 35%), la acción bioclimática que condiciona la posibilidad favorable del cultivo de secano resulta de la combinación apropiada de ambos factores. La diferencia entre ETMax y PPEfec mayor de 2 mm d⁻¹ para el promedio del ciclo, separa la combinación que determina años desfavorables de aquellos propicios.

CONCLUSIÓN

En base a la evaluación agrometeorológica realizada a partir de los datos meteorológicos de cada ciclo, la región central de la provincia de Córdoba

exhibe un potencial limitado para el cultivo de papa en secano. Si bien se trata de una modalidad que presenta un costo de producción más bajo, se ha constatado una alta frecuencia de condiciones hídricas desfavorables caracterizadas por una diferencia entre ETMax y PPEfec superior a 2 mm d⁻¹ para el promedio del ciclo. Existe una franja de resultados de mayor incertidumbre, cuya consideración requiere de una evaluación particular a partir de ensayos con tratamientos de sequía extrema.

BIBLIOGRAFÍA

- Burt, J.E., J.T. Hayes, P.A. O'Rourke, W.H. Terjung and P.E. Todhunter, 1980. WATER: A model of water requirements for irrigated and rainfed agriculture. Publ.Climatol., 33(3), C.W.Thomthwaite Associates. Center for Climatic Research, Elmer, NJ, 119 pp.
- Burt, J.E., J.T. Hayes, P.A. O'Rourke, W.H. Terjung and P.E. Todhunter, 1981. A Parametric Crop Water Use Model. Water Resources Research, 17(4): 1095-1108.
- Dardanelli, J.L., A.C. de la Casa, M.R. Ateca, R. Zanvetor, F. Nuñez Vázquez y H.P. Salas, 1991. Validación del balance hidrológico versátil para la sucesión sorgo-soja bajo dos sistemas de labranza. Revista Agropecuaria de Manfredi y Marcos Juárez, 7(2):20-29.
- Doorembos, J. y A.H. Kassam, 1979. Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos. Estudio FAO: Riego y Drenaje N° 33, 212 pp.
- Doorembos, J. y W.O. Pruiitt, 1977. La necesidad de agua de los cultivos. Estudio FAO: Riego y Drenaje N° 24, 194 pp.
- Feddes, R.A., P.J. Kowalik and H. Zaradny, 1978. Simulation of field water use and crop yield. Ed. John Wiley & Sons. NY.
- Griffin, T.S., B.S. Johnson y J.T. Ritchie, 1993. A simulation model for potato growth and development: SUBSTOR-Potato Version 2.0. IBSNAT Research Report Series 02, 29 pp.
- Hayes, J.T.; P.A. O'Rourke; Terjung, W.H. y P.E. Todhunter, 1982a. YIELD: A numerical crop yield model of irrigated and rainfed agriculture. Publications in Climatology. Delaware. Vol. XXXV(2).
- Hayes, J.T.; P.A. O'Rourke; Terjung, W.H. y P.E. Todhunter, 1982b. A feasible crop yield model for worldwide international food production. International Journal of Biometeorology, 26:239-257.
- Ingram, K.T. and D.-E. McCloud, 1984. Simulation of potato growth and development. Crop Sci., 24:21-27.
- Jefferies, R.A. and T.D. Heilbronn, 1991. Water stress as a constraint on growth in the potato crop. 1. Model development. Agric.Forest Meteor., 53:185-196.
- Lanfranconi, L.E., 1986. El riego en la Provincia de Córdoba. Informe en: Documento básico para el Programa de Riego y Drenaje. INTA, Vol.I, 95 pp.
- Lanfranconi, L.E.; M. Buteler; W. Robledo; H. Fontán; E. Tuda y R. Beretta. 1987. Situación de contexto del área central bajo riego de la Provincia de Córdoba. INTA, SMAGyRR, FCA UNC, Vol.1, Tomos I y II.
- Lanfranconi, L.E.; R.H. Accietto y L. Bressanini, 1997. Evaluación de la tuberización y del rendimiento de cultivares de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el Área Central Bajo Riego de la Provincia de Córdoba. INTA, SAGPYA, FCA UNC, Proyecto integrado para el mejoramiento de la calidad de papa. 14 pp.
- MacKerron, D.K.Land P.D. Waister, 1985. A simple model of potato growth and yield. Part I. Model development and sensitivity analysis. Agric.Forest Meteor., 34:241-252.
- Muchow, R.C.; G.L. Hammary P.S. Carberry, 1991. Optimizing crop and cultivar selection in response to climatic risk. In R.C. Muchow and J.A. Bellamy (eds.) Climatic risk in crop production: Models and management for the semiarid tropics and subtropics. Proceeding International Symposium, St. Lucia, Brisbane, Queensland, Australia.
- Plan Mapa de Suelos, 1987. Hoja 3163-32, Oncativo. Carta de suelos de la República Argentina, INTA y SMAGyRR, 82 pp.
- Sadvie, R.W.; R.L. Raddatz and D.B. Fowler, 1990. Potential for winter wheat in western Canada: A CERES model winterkill risk assesment .Canadian Journal of Plant Science, 71: 21-30.
- SMN, 1991. Datos meteorológicos de superficie horarios y diarios de la estación Pilar. Servicio Meteorológico Nacional, Fuerza Aerea Argentina.
- Terjung, W.H.; J.T. Hayes; P.A. O'Rourke; J.E. Burt y P.E. Todhunter, 1982. Consumptive water use response of maize to changes in environment and management practices: Sensitivity analysis of a model. Water Resources Research, 18(5): 1539-1550.
- Terjung, W.H.; H.Y.Ji; J.T. Hayes; P.A. O'Rourke y P.E. Todhunter, 1983. Crop water requeriments for rainfed and irrigated grain corn in China. Agricultural Water Manage., 6:43-64.
- Terjung, W.H.; J.T. Hayes; H.Y.Ji; P.A. O'Rourke y P.E. Todhunter, 1984a. Crop water requeriments for rainfed and irrigated rice (paddy) in China. Archives for Meteorology, Geophysics, and Bioclimatology, Ser.B, 34:181-202.
- Terjung, W.H.; H.Y.Ji; J.T. Hayes; P.A. O'Rourke y P.E. Todhunter, 1984b. Crop water requeriments for rainfed and irrigated wheat in China and Korea. Agricultural Water Management, 8:411-427.
- Thomley, J.H.M., 1976. Mathematical models in plant physiology. Ed. Academic Press. 318 pp.