



RESPUESTA PRODUCTIVA A DIFERENTES
PROGRAMACIONES DE RIEGO EN TRIGO (*Triticum aestivum* L.)
REGIÓN SEMIÁRIDA DE CÓRDOBA, ARGENTINA

PRODUCTIVE RESPONSE TOWARDS
DIFFERENT PROGRAMS OF WHEAT IRRIGATION
SEMI-ARID REGION OF CÓRDOBA, ARGENTINA

Juan Mateo Pedro Puiatti
Raúl Jesús Crespi
Ana Rosa Rivetti

Originales
Recepción: 24/04/2003
Aceptación: 18/03/2004

RESUMEN

En la evaluación regional de riego con equipos presurizados, se observa que la mayoría de los establecimientos no hacen uso de programas de riego basados en necesidades hídricas, dando lugar a un uso inadecuado de los recursos hídricos. Por ello, en el presente trabajo se evalúa la producción de trigo (*Triticum aestivum* L.) bajo riego programado considerando las variables clima-suelo-cultivo.

La experiencia se desarrolló en el campo experimental de la Universidad Nacional de Río Cuarto durante los ciclos 1999, 2000 y 2001. Se contó con la información climática de la estación meteorológica instalada en el lugar.

En los ensayos se consideró un diseño estadístico en parcelas totalmente al azar con seis repeticiones. Los tratamientos fueron los siguientes: 1. sin riego; 2. reponiendo desde un umbral de marchitez incipiente hasta capacidad de campo; 3. reponiendo desde umbral de marchitez incipiente hasta un nivel que permita el aprovechamiento del agua de lluvia con un 75 % de probabilidad de ocurrencia; 4. riego sólo en el período comprendido entre las etapas fenológicas de macollaje y grano lechoso y 5. considerando el modelo de programación YACU.

SUMMARY

Taking into account, the regional evaluation of irrigation with pressurised equipment, it can be observed an inappropriate use of irrigation programs, what is more, most of the farms do not make use of irrigation programs based on water necessities, generating an inadequate use of water resources. For that reason in the present work the production of wheat (*Triticum aestivum* L.) under programmed irrigation is evaluated considering climate-soil-plant variables.

The experience was developed in the experimental field of the National University of Río Cuarto during 1999, 2000 and 2001, with meteorological station installed in the field.

The statistical design was made at random in plots with six repetitions. The treatments were: 1. no irrigation; 2. replenish water all vegetative cycle, from incipient wilting to field capacity; 3. replenish water from incipient wilting to a level that allows the advantage of the rainwater with 75 % of occurrence probability; 4. with optimal initial water soil level, and irrigation only in the rest of the cycle between growth stage of tillering and milk stage; 5. considering the model of programming YACU.

Los resultados de esta experiencia en los tres años considerados establecen una respuesta significativa al riego complementario, con una producción promedio de los tratamientos bajo riego de 4980 kg.ha⁻¹ en 1999, 5895 kg.ha⁻¹ en el 2000 y 6271 kg.ha⁻¹ en el 2001, contra 3296 kg.ha⁻¹, 4054 kg.ha⁻¹ y 3197 kg.ha⁻¹, respectivamente, para los tratamientos sin riego. Dentro de los tratamientos bajo riego, en los dos primeros años se obtuvieron valores significativamente menores en las parcelas regadas sólo entre macollaje y grano lechoso: 4704 kg.ha⁻¹ en 1999 y 4973 kg.ha⁻¹ en el 2000.

The results of these experiments in the three years considered show that there was a significant response to complementary irrigation. The average production of irrigated treatments was 4980 kg.ha⁻¹ in 1999, 5895 kg.ha⁻¹ in 2000 and 6271 kg.ha⁻¹ in 2001 in opposition to 3296 kg.ha⁻¹, 4054 kg.ha⁻¹ and 3197 kg.ha⁻¹ for the no irrigated treatments. Within the treatments under irrigation, significantly smaller yields were obtained in the plots irrigated between tillering and milk stage, 4704 kg.ha⁻¹ in 1999 and 4973 kg.ha⁻¹ in 2000.

Palabras clave

riego complementario • trigo • aspersión

Key words

complementary irrigation • wheat • sprinkle

INTRODUCCIÓN

En el área agropecuaria del sur de la provincia de Córdoba ha comenzado en los últimos años a difundirse la práctica del riego complementario mediante el empleo de equipos presurizados, mayoritariamente pivote central. La producción de trigo de esta región representa aproximadamente el 10 % de la producción nacional (3). Dicho cultivo es el de mayor superficie cultivada en la época invierno - primavera.

Esta área está caracterizada por la escasez de lluvias en las primeras etapas del cultivo y por su mala distribución a lo largo del ciclo, por lo que la producción depende de las reservas de agua en el suelo logradas en el otoño y de la ocurrencia de precipitaciones importantes al inicio de la primavera.

La aplicación del riego complementario en diferentes zonas del mundo no sólo ha producido incrementos significativos de rendimientos, sino que también ofrece cierta estabilidad a la producción agropecuaria. Regionalmente se ha demostrado su importancia en diferentes cultivos, entre ellos el de trigo (5).

Los equipos de riego presurizado presentan particularidades distintivas con relación al resto de los sistemas de riego, fundamentando su introducción en las áreas de cultivos extensivos su mejor desempeño, mayor rapidez y menores costos de mantenimiento. No obstante, esto es válido si se logra maximizar la productividad minimizando los costos y el manejo se realiza eficientemente, manteniendo condiciones adecuadas de humedad edáfica mediante un uso racional del agua y preservando las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo.

En la evaluación regional del riego con equipos presurizados (6) se evidencia la mala programación del riego que realizan los establecimientos relevados: la mayoría no usa programas de riego basados en las necesidades hídricas de los cultivos, sólo tiene en cuenta la operatividad de los equipos. En esta evaluación queda de manifiesto la muy baja eficiencia de almacenaje del agua en el suelo, que hace que no se obtengan diferencias significativas de producción en relación con los cultivos de secano.

Apoyándose en un programa de riego, es posible ahorrar más de un 20 % de agua (1) sin afectar significativamente los rendimientos. Una programación de riego satisfactoria requiere un entendimiento de los principios que condicionan el flujo de agua a través del suelo, la absorción del agua por las plantas y la pérdida de agua hacia la atmósfera (2).

Suponiendo que la falta de programación del riego es una de las consecuencias de la ausencia de respuestas significativas a esta práctica, el objetivo de la presente experiencia es evaluar la producción de trigo bajo diferentes programas basados en la consideración de las variables clima - suelo - cultivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

La experiencia se desarrolló durante 1999, 2000 y 2001 en el campo experimental de la Universidad Nacional de Río Cuarto y se contó con la información climática de la estación agrometeorológica instalada en el lugar.

La variedad de trigo utilizada en todos los ciclos fue INTA Imperial con una densidad de siembra de 350 semillas por m², con un distanciamiento entre hileras de 15 cm.

La totalidad de la superficie cultivada recibió una aplicación de 100 kg.ha⁻¹ de fosfato diamónico a la siembra y 130 kg.ha⁻¹ de urea en macollaje. En la primera semana de septiembre se realizó una aplicación de dicamba más metsulfuron metil con la dosis recomendada por el producto comercial empleado.

El diseño estadístico utilizado fue de parcelas totalmente al azar con seis repeticiones. La parcela experimental fue de 20 m x 20 m. Los tratamientos fueron:

- T₀ sin riego;
- T₁ regando durante todo el ciclo, aplicando la lámina necesaria para llevar la humedad del suelo a capacidad de campo cuando se alcanzaba el umbral de marchitez incipiente S_p (4);
- T₂ aplicando durante todo el ciclo la lámina correspondiente para reponer el agua requerida para llevar desde marchitez incipiente hasta un nivel que permita el aprovechamiento del agua de lluvia con un 75 % de probabilidad de ocurrencia (7);

- T_3 partiendo de capacidad de campo a la siembra, regándose sólo en el período comprendido entre las etapas fenológicas de macollaje y fin de grano lechoso, aplicándose la lámina necesaria para llevar la humedad hasta capacidad de campo cuando se alcanzaba el umbral de marchitez incipiente;
- T_4 riego durante todo el ciclo, considerando el modelo de programación YACU elaborado por INTA Pergamino (9), el cual requiere para su uso los datos climáticos de temperatura y lluvias, y como información de suelo, capacidad de campo y punto de marchitez .

El riego se realizó con un equipo de avance lateral de 87.6 m de longitud de trabajo con sistema de distribución del agua con tuberías de bajada y emisión mediante difusores con reguladores de presión con una precipitación a marcha continua de 6 mm, alimentado por una electrobomba sumergible desde una perforación con agua subterránea de muy buena calidad para riego.

El seguimiento de la succión matriz del perfil del suelo se realizó mediante el monitoreo cada tres días de sensores de matriz granular (Watermark[®]), colocados a 10, 20, 30 y 45 cm de profundidad. El valor de S_p considerado fue de 165 kPa determinado por la ecuación de Norero (4).

La profundidad de exploración radical considerada fue de 58 cm, coincidente con la finalización del cuarto horizonte del perfil de suelo.

En la tabla 1 se muestran los parámetros físicos del suelo relacionados con los contenidos hídricos de los diferentes horizontes.

Tabla 1. Parámetros físicos de suelo

| Profundidad (mm) | Densidad aparente (g.cm^{-3}) | Humedad gravimétrica (g/g) | | | Lámina (mm) | | |
|------------------|--|----------------------------|------------------|-------------------|--------------------|----------------------|----------------------|
| | | Cap. de campo W_c | Mar. Perm. W_m | Mar. Incip. W_p | Capacidad de campo | Marchitez permanente | Marchitez incipiente |
| 110 | 1.27 | 0.19 | 0.11 | 0.15 | 15.37 | 26.54 | 20.95 |
| 110-220 | 1.35 | 0.18 | 0.11 | 0.14 | 16.33 | 26.73 | 20.79 |
| 220-360 | 1.36 | 0.15 | 0.09 | 0.12 | 17.14 | 28.56 | 22.85 |
| 360-580 | 1.29 | 0.13 | 0.08 | 0.11 | 22.70 | 36.89 | 31.22 |
| Total | | | | | 71.54 | 118.72 | 97.29 |

La determinación de la producción de grano se obtuvo a partir de la cosecha de una superficie de 50 m² correspondiente a la parte central de cada parcela, ajustándose el rendimiento al 14 % de humedad.

Empleando el programa estadístico S.P.S.S. 9.0 para Windows se realizó el análisis de varianza y prueba de comparación de medias; previamente se efectuó un estudio de normalidad de los datos.

RESULTADOS

Los rendimientos promedio del testigo, sin riego, fueron marcadamente menores que los rendimientos de los tratamientos con riego: se obtuvo un porcentaje relativo de disminución de 51.1 en 1999, 45.4 en el 2000 y 96.15 en el 2001, respectivamente (tabla 2).

Tabla 2. Análisis estadístico de la producción de granos en kg.ha⁻¹

| | Tratamientos | | | | |
|-------------|-----------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | sin riego T ₀ | T ₁ | T ₂ | T ₃ | T ₄ |
| 1999 | 3296 a C.V.= 4.77 | 5083 b C.V.= 2.22 | 5031 b C.V.= 2.97 | 4704 c C.V.= 1.39 | 5102 b C.V.= 1.75 |
| 2000 | 4054 a C.V.= 11.65 | 6219 b C.V.= 2.70 | 6249 b C.V.= 1.02 | 4973 c C.V.= 5.89 | 6138 b C.V.= 4.05 |
| 2001 | 3197 a C.V.=3.66 | 6152 b C.V.= 4.99 | 6284 b C.V.=5.49 | 6465 b C.V.=2.90 | 6185 b C.V.=3.22 |
| 1999 | C.V.= 2.58 | D.M.S. = 322.36 | | | |
| 2000 | C.V.= 5.14 | D.M.S. = 762.87 | | | |
| 2001 | C.V.= 4.34 | D.M.S. = 670.20 | | | |

Valores en la fila con la misma letra no presentan diferencia significativa al 0.05 según test de Tukey

Los tratamientos bajo riego brindaron valores semejantes de producción salvo el tratamiento T₃ que se regó sólo en el período comprendido entre la etapa fenológica de macollaje y fin de grano lechoso, que en los dos primeros años mostró rendimientos menores respecto de los valores medios obtenidos bajo riego: 5.86 % menos en 1999 y 18.54 % menos en el 2000.

En cuanto a las láminas de riego aplicadas (tabla 3, pág. 94) hubo valores significativamente mayores en el tratamiento T₄ con relación a los demás tratamientos bajo riego:

72 mm en el 1999,
48 mm en el 2000 y
42 mm en el 2001 en más,

respecto del tratamiento de mayor lámina de cada año. La diferencia entre la máxima y mínima de los otros tres (T₁, T₂, y T₃) fue muy baja: 12, 18 y 18 mm, respectivamente, en cada año.

La evapotranspiración real brindada por el modelo YACU fue mucho mayor que la determinada mediante los sensores de matriz granular: presentó un porcentaje de incremento relativo de 28.25, 36.91 y 38.41 % correlativamente a cada uno de los años.

Para cada año se realizó la prueba Levene: resultó no significativa y cumplió con el supuesto de homogeneidad de varianza.

En las figuras 1, 3 y 5 (pág. 95) se muestra la evolución de los perfiles hídricos de los diferentes tratamientos en cada año, y en las figuras 2, 4 y 6 (pág. 95), la ocurrencia de precipitaciones y los riegos efectuados en cada uno de los años.

Tabla 3. Riegos aplicados por decádica en cada tratamiento y ET_r

| Mes | Dec. | Lluvia (mm) | 1999 ET _r (mm) | | Riego (mm) | | | |
|--------------|------|-------------|------------------------------|--------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | | | Sensor | Yacu | T ₁ | T ₂ | T ₃ | T ₄ |
| Julio | 2 | 14 | 4.4 | 2.9 | | | | |
| | 3 | | 8.7 | 8.0 | | | | |
| Agosto | 1 | 9 | 11.6 | 12.1 | | | | |
| | 2 | | 8.5 | 5.2 | 18 | 18 | | |
| Septiembre | 3 | 10 | 17.0 | 16.1 | | | | 24 |
| | 1 | 10 | 16.3 | 17.1 | | | 18 | |
| | 2 | | 22.2 | 32.1 | 18 | 18 | 18 | 24 |
| Octubre | 3 | 17 | 27.7 | 45.5 | 18 | 12 | 18 | 24 |
| | 1 | 19 | 20.6 | 23.1 | | | | 18 |
| Noviembre | 2 | | 35.2 | 57.8 | 24 | 36 | 24 | 60 |
| | 3 | 83 | 39.7 | 60.8 | 24 | 24 | 24 | 30 |
| Diciembre | 1 | 87 | 32.6 | 38.1 | 24 | 18 | 24 | |
| | 2 | 25 | 45.5 | 63.8 | 24 | 18 | 24 | 60 |
| TOTAL | 3 | 5 | 42.5 | 47.9 | 18 | 12 | 18 | |
| | 1 | 28 | 21.3 | 23.2 | | | | |
| TOTAL | | 307 | 353.8 | 454.3 | 168 | 156 | 168 | 240 |

| Mes | Dec. | Lluvia (mm) | 2000 ET _r (mm) | | Riego (mm) | | | |
|--------------|------|-------------|------------------------------|--------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | | | Sensor | Yacu | T ₁ | T ₂ | T ₃ | T ₄ |
| Julio | 2 | 1 | 4.2 | 2.5 | | | | |
| | 3 | | 7.9 | 6.4 | | | | |
| Agosto | 1 | | 9.1 | 8.0 | 18 | 18 | | 18 |
| | 2 | | 12.2 | 10.6 | | | | |
| Septiembre | 3 | 1 | 12.3 | 9.2 | 24 | 24 | 32 | 24 |
| | 1 | 10 | 16.4 | 20.8 | | | | |
| | 2 | 3 | 14.1 | 17.8 | 24 | 18 | 24 | 18 |
| Octubre | 3 | | 22.9 | 38.1 | 18 | 12 | 18 | 30 |
| | 1 | 11 | 22.4 | 36 | | 12 | | 24 |
| Noviembre | 2 | 14 | 26.4 | 46.7 | 24 | 12 | 24 | 48 |
| | 3 | 66 | 35.3 | 57.2 | | | | |
| Diciembre | 1 | 62 | 30.1 | 47.3 | | | | |
| | 2 | 9 | 30.0 | 44.6 | 24 | 18 | 24 | 18 |
| TOTAL | 3 | 21 | 39.0 | 48.3 | | | | |
| | 1 | | 16.1 | 14.7 | | | | |
| TOTAL | | 198 | 298.4 | 408.2 | 132 | 114 | 122 | 180 |

| Mes | Dec. | Lluvia (mm) | 2001 ET _r (mm) | | Riego (mm) | | | |
|--------------|------|-------------|------------------------------|--------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | | | Sensor | Yacu | T ₁ | T ₂ | T ₃ | T ₄ |
| Julio | 2 | | 8.1 | 9.6 | | | | |
| | 3 | 5 | 6.5 | 4.3 | | | | |
| Agosto | 1 | | 11.4 | 11.7 | 24 | 24 | | 24 |
| | 2 | 17 | 12.2 | 8.8 | | | | |
| Septiembre | 3 | 2 | 16.7 | 16.6 | | | | |
| | 1 | 14 | 12.9 | 13.1 | | | | |
| | 2 | 4 | 17.2 | 22.6 | 24 | 24 | | 24 |
| Octubre | 3 | 112 | 22.5 | 35.5 | | | 30 | |
| | 1 | 24 | 22.7 | 34.4 | | | | |
| Noviembre | 2 | 56 | 26.5 | 45.3 | | | | |
| | 3 | 59 | 34.5 | 56.9 | | | | 24 |
| Diciembre | 1 | 15 | 32.8 | 53.3 | 30 | 24 | 30 | 24 |
| | 2 | 9 | 35.9 | 57.2 | 30 | 24 | 30 | 30 |
| TOTAL | 3 | | 31.4 | 36.7 | | | | 24 |
| | 1 | | 11.5 | | | | | |
| TOTAL | | 317 | 301.7 | 417.5 | 108 | 96 | 90 | 150 |

Los datos de evapotranspiración real (ET_r) del sensor corresponden al tratamiento T₁.

Evolución del perfil hídrico del suelo en cada uno de los tratamientos

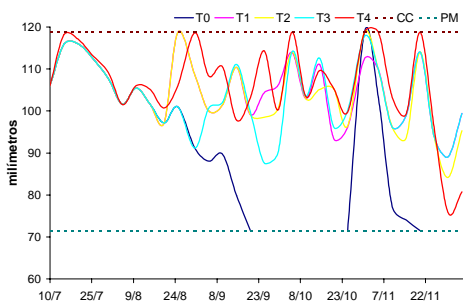


Figura 1. 1999

Lluvias y riegos realizados en cada tratamiento

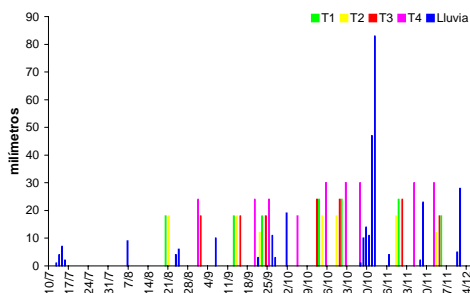


Figura 2. 1999

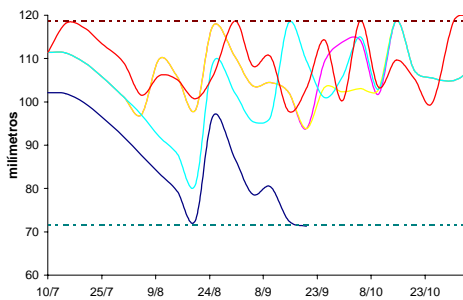


Figura 3. 2000

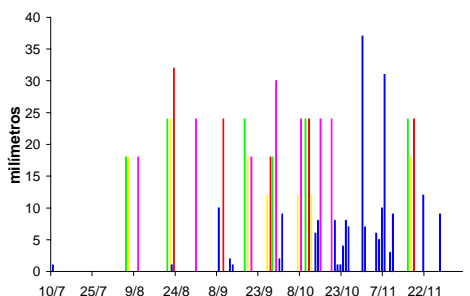


Figura 4. 2000

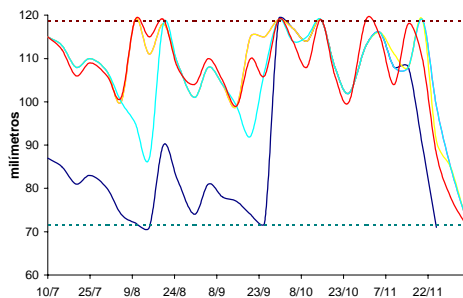


Figura 5. 2001

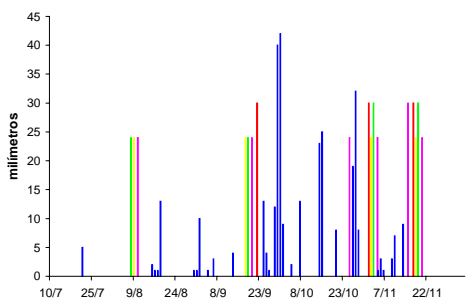


Figura 6. 2001

DISCUSIÓN

En el primer año la densidad de siembra fue menor a la estipulada, producto de falla en la calibración de la sembradora, obteniéndose sólo 240 plantas promedio por m² de las 350 pretendidas; a su vez, el cultivo se vio afectado por una alta competencia de malezas que no fueron debidamente controladas por el herbicida aplicado. Esto estaría justificando la menor producción de 1999 con relación al 2000 y 2001.

Al igual que los resultados obtenidos por Puiatti et al. (5), de ensayos realizados también en Río Cuarto, la respuesta al riego complementario es altamente significativa, lo que hace recomendable esta práctica en la región semiárida y subhúmeda de nuestro país.

Si bien la diferencia de producción en el tratamiento T_3 es estadísticamente significativa en los dos primeros años, en el segundo es muy marcada; se estima que se debió al comportamiento de las lluvias que, respondiendo a los valores normales de la región, comenzaron a tener valores importantes en octubre. Lo contrario ocurrió en el 2001 que se caracterizó por lluvias regulares en septiembre, dando similares rendimientos de este tratamiento con relación a los otros bajo riego.

Cabe destacar que los valores de evapotranspiración real arrojados por el programa YACU son mayores con relación a los medidos mediante los sensores de humedad, los cuales inciden directamente sobre las láminas de riego a aplicar. Sin embargo, estas mayores láminas aplicadas no reflejaron incrementos de producción con respecto a los otros tratamientos con riego en igual período, en ninguno de los años evaluados.

CONCLUSIONES

- ❖ La respuesta del cultivo de trigo al riego complementario en el sur de la provincia de Córdoba es altamente significativa, lo que hace recomendable dicha práctica.
- ❖ La programación del riego en cultivo de trigo en esta región, contemplando las probabilidades de lluvias, requiere de menos riego para iguales niveles de producción.
- ❖ El programa YACU para trigo genera, con los valores climáticos de la región estudiada, valores de láminas de riego mayores para producciones similares a las obtenidas mediante la medición de humedad de suelo.

REFERENCIAS

1. Buchleiter, G. W.; D. F. Hermann and R. J. Wenstrom. 1996. Economic analysis of on-farm irrigation scheduling. Evapotranspiration and irrigation scheduling. ASAE. Texas.
2. Campbell, G. S. and N. C. Turner. 1990. Plant-soil-water relationships. Section two. Management of farm irrigation systems. ASAE.
3. Dardanelli, J. L. 1994. Perspectivas del riego suplementario en la región semiárida de Córdoba. Seminario Nacional. Tucumán. pp. 217 - 223.
4. Norero, A. 1978. Fórmula para estudiar la influencia de la humedad del suelo en la productividad de los cultivos. CIDIAT. Serie Suelos y Clima. 49 p.
5. Puiatti, J. M.; R. J. Crespi; A. R. Rivetti; A. Cantero y E. Bonadeo. 1985. Respuesta del cultivo de trigo (*Triticum aestivum* L.) a la fertilización en secano y bajo riego en la zona de Río Cuarto. XII Congreso Nacional del Agua. Mendoza. Tomo II b. 30 p.
6. Puiatti, J. M.; R. J. Crespi y A. R. Rivetti. 1997. Evaluación regional del riego con equipos presurizados. IV Jornadas científicas y técnicas de agronomía y veterinaria. Universidad Nacional de Río Cuarto. pp. 316-318.
7. Ravelo, A. y R. Seiler. 1978/79. Agroclima de la provincia de Córdoba. Expectativas de precipitación en el curso del año. RIA. INTA, Serie 3. Clima y Suelo. Vol. XIV. N° 3. 135 p.
8. SPSS Inc. 1998. SPSS 9.0 for windows.
9. Totis de Zeljkovich, L. E.; E. Frutos; C. Amándola; C. O. Hernandorena; V. J. Zeljkovich y O. G. Perez. 1996. YACU. Programa para el manejo del agua de riego en la región pampeana. En: Congreso Argentino de Meteorología, 7º Congreso Latinoamericano e Ibérico de Meteorología. Buenos Aires, Centro Argentino de Meteorólogos. pp. 23-24.