



RIEGO CON EQUIPOS PRESURIZADOS *

PRESSURIZED IRRIGATION

Juan Mateo Pedro Puiatti
Raúl Jesús Crespi
Ana Rosa Rivetti

Originales
Recepción: 02/08/2001
Aceptación: 07/03/2002

RESUMEN

En un área de aprox. 2 000 000 ha del sur de Córdoba (Argentina) se evaluaron los equipos de riego con el fin de conocer su funcionamiento, el grado de uniformidad con que trabajan y la eficiencia de riego lograda por los productores. Se realizaron 21 evaluaciones sobre equipos operando de acuerdo con la programación establecida por sus usuarios; 14 sobre pivote, una sobre avance lateral, 4 sobre enrolladores (3 de cañón y uno de baja presión) y 2 sobre side roll.

Los parámetros de calidad de riego brindaron coeficiente medio de uniformidad = 81,4 %, con uniformidad de distribución = 73,23 %. En el 80 % de los casos, la lámina aplicada fluctuó entre 10 y 20 mm siendo su promedio = 17 mm. De los resultados se puede inferir que -en general- la superficie asignada a cada equipo es siempre mayor que su capacidad para realizar oportunamente una óptima reposición del agua al suelo y que, si bien los coeficientes de uniformidad y distribución del agua pueden considerarse aceptables, la programación del riego es mala en todos los establecimientos evaluados poniéndose de manifiesto en la baja eficiencia de almacenamiento y repercutiendo directamente sobre la producción de los cultivos regados.

SUMMARY

In approx. 2 000 000 ha in the South of Córdoba (Argentina) was evaluated the performance of the irrigation equipments, the way they are operated and employed, the degree of uniformity they work and the efficiency of irrigation obtained by the farmers. There were 21 evaluations of equipments operating according to the irrigation program established by the owners, 14 on pivots, 1 on lateral move, 4 rollers (3 for gun sprinkler and 1 with low pressure) and 2 side roll.

The parameters of the quality of irrigation show values of uniformity coefficient of 81.4 % with a uniformity of distribution of 73.23 %. The 80 % of the cases present a applied depth between 10 and 20 mm with a average value of 17 mm. Based on the obtained values, it can be assumed that -in general- the surface assigned to each of the equipments, is always larger than its capacity to replace soil water adequately. Although the uniformity coefficient and water distribution can be considered acceptable, the most important aspect that highlights this study is the bad irrigation scheduling in all the evaluated farms, stated in the low efficiency of soil water storage that affects directly the production of the irrigated crops.

* Trabajo presentado en el Seminario "Manejo sustentable del recurso hídrico en zonas áridas". Mendoza. Argentina. 2001.
Hidrología Agrícola. Facultad de Agronomía y Veterinaria. UNRío Cuarto. Ruta 36. Km 601.
(5800) Río Cuarto. Córdoba. Argentina. mpuiatti@ayv.unrc.edu.ar

Palabras clave

evaluación • riego presurizado • rendimiento

Key words

evaluation • pressurized irrigation • efficiency

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo evalúa una importante innovación tecnológica introducida en la producción agropecuaria del sur de Córdoba (Argentina): los equipos de riego presurizados para cubrir deficiencias hídricas. A tal efecto se analizó el grado de uniformidad de su empleo y la eficiencia lograda por los productores en un área de aprox. 2 000 000 ha en los dptos. de Río Cuarto, Juárez Celman y Tercero Arriba. La región, mayormente con cultivos en secano, tiene un clima subhúmedo, con una precipitación anual promedio de 800 mm para una serie de 20 años (10). La mala distribución temporal de las lluvias genera importantes deficiencias hídricas. Consecuentemente, la práctica del riego puede aumentar notablemente los rendimientos (1, 3, 7, 8, 9).

Objetivos

- Estudiar la uniformidad y eficiencia de la precipitación arrojada por sistemas de riego presurizado.
- Reunir información básica sobre su incidencia en la producción y el desarrollo regional.

MATERIALES Y MÉTODOS

La evaluación se realizó sobre equipos que funcionaron de acuerdo con la programación de riego establecida por sus usuarios. En cada caso se relevó su longitud, espaciamento entre torres, longitud de voladizo, alcance de cañón terminal, presión de entrada al equipo, diámetro de la tubería, velocidad de avance, potencia del motor, generador y consumo. Pluviómetros espaciados cada 3 m a lo largo de una línea paralela al ramal de riego en las máquinas transversales y en un radio, en los pivotes, midieron la precipitación brindada por los equipos. La misma fue colectada en recipientes de altura = 14 cm y abertura = 11 cm (Normas ISO, 1994).

I. Determinaciones efectuadas**1. Lámina media recogida (L_a)**

Se estableció con el promedio aritmético de la altura de agua recogida en cada pluviómetro en los equipos de traslación lateral y el promedio ponderado de dicha lámina por la distancia al centro, en los pivotes.

2. Coeficiente de uniformidad de la lámina de riego aplicada (CU)

Este parámetro estadístico -indicador de la uniformidad del sistema- se calculó con la ecuación de Christiansen en los equipos de traslación lateral (2) y su modificación en los pivotes (4).

3. *Uniformidad de distribución (UD)*
Se determinó efectuando el cociente entre el valor de la lámina media obtenida en los pluviómetros del cuarto más pobre y la precipitación media del equipo. Luego, se expresó porcentualmente (6).
4. *Coefficiente de variación (CV)*
Se obtuvo efectuando el porcentaje de la relación entre la desviación típica de las láminas recogidas en los pluviómetros y la media de estas alturas de precipitación (11).
5. *Intensidad de aplicación de la lámina de riego (I)*
Se midió la intensidad de aplicación cronometrando el tiempo de aplicación de la lámina. En el caso de los pivotes, la evaluación se realizó en el extremo del equipo porque allí es donde se presenta la mayor intensidad.
6. *Intensidad máxima de aplicación (I_p)*
Se asumió un perfil de tasa de aplicación de forma elíptica calculándose el pico de aplicación instantánea mediante la ecuación: $I_p = 4 I / \pi$ (5). Estas dos últimas determinaciones se correlacionaron con la infiltración instantánea de los suelos en los tiempos de aplicación y en el pico del extremo del equipo, a fin de establecer la existencia de escorrentía.

II. Determinaciones en suelos de los lotes regados

7. *Infiltración instantánea (I_t)*
Se realizaron ensayos de infiltración con el método de doble anillo en cada uno de los suelos en que se evaluaron los equipos, estableciéndose los parámetros de la ecuación de Kostiakov.
8. *Peso específico aparente*
Se determinó utilizando el método de Uhland para poder establecer posteriormente la humedad volumétrica del suelo.
9. *Contenido de humedad a -30 kPa y a -1500 kPa de potencial*
Ambos indicadores edáficos, que permiten obtener la capacidad de agua útil del suelo, se determinaron mediante el empleo de ollas de presión.
10. *Contenido de humedad del suelo*
Se registró la humedad del perfil de cada uno de los suelos a regar. Esta medición se realizó con el método gravimétrico. Para las tomas de muestra se utilizó un barreno sacabocados Vehymeyer que permite obtener una columna continua de suelo.

Con los precisados valores se estableció la lámina requerida (L_r) en cada lote de riego, determinándose la misma mediante la ecuación:

$$L_r = (W_c - W_a) * PEA * Prof_r$$

W_c = Humedad gravimétrica a capacidad de campo

PEA = Peso específico aparente

W_a = Humedad gravimétrica actual (antes del riego)

Prof_r = Profundidad alcanzada por las raíces

III. Cálculos de eficiencia, expresada en porcentaje

11. *Eficiencia de aplicación (E_a)*
Para su valoración se relacionó la lámina requerida con la lámina aplicada. Se consideró como lámina requerida la necesaria para llevar la humedad existente en el perfil hasta el nivel de capacidad de campo.

12. Eficiencia de almacenamiento (E_{al})

Para este cálculo se efectuó el cociente entre la lámina de almacenamiento y la requerida.

Es importante para evaluar si se realiza un aprovechamiento adecuado de la capacidad de almacenamiento de los suelos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se realizaron 21 evaluaciones (tabla 1):

- 14 sobre pivote,
- 1 sobre equipo de avance lateral,
- 4 enrolladores (3 de cañón y uno con barra de baja presión)
- 2 de traslado lateral (side roll)

Tabla 1. Características de los equipos evaluados.

Muestra	Marca	Tipo de emisores	Diámetro de tubería (mm)	Longitud del equipo (m)	N° de torres	Presión de entrada (KPa)	Motor (HP)	Generador (KVA)	Consumo de gasoil (l/mm/ha)
1 Pivot	RKD	Difusores	127	406,40	8	3500	160	15	0,857
2 Pivot	Lindsay	Difusores	127	577,70	10	3500	160	15	0,862
3 Pivot	Lindsay	Difusores	127	519,00	8	3600	180	15	0,840
4 Pivot	RKD	Aspersor	127	561,30	11	3800	207	15	0,884
5 Pivot	RKD	Difusores	127	560,80	11	3500	210	15	0,537
6 Pivot	Lindsay	Difusores	127	629,50	11	3500	160	15	1,003
7 Pivot	RKD	Difusores	127	412,90	8	3200	160	15	0,897
8 Pivot	Lindsay	Difusores	127	577,00	10	3600	220	15	0,641
9 Pivot	Lindsay	Rotator	127	616,90	11	3000	180	15	1,017
10 Pivot	Lindsay	Rotator	127	512,10	9	3000	160	15	1,112
11 Pivot	Lindsay	Difusores	127	512,10	9	3500	180	15	0,692
12 Pivot	Lindsay	Difusores	127	512,10	9	3500	180	15	0,598
13 Pivot	Zanello	Difusores	127	360,00	6	3500	160	15	0,978
14 Pivot	Lindsay	Difusores	127	451,20	8	3400	180	15	1,137
15 Lateral	Lindsay	Difusores	127	341,40	6	3600	160	15	1,033
16	API	Cañón	200	Enr c/ barra de baja presión		4500	140		1,754
17	API	Cañón	125	Enrollador		7400	140		2,765
18	API	Cañón	125	Enrollador		6900	160		2,637
19	API	Cañón	125	Enrollador		8000	160		2,839
20	Side Roll	Aspersores	101	Irridelco Wade Rain		3500	140		0,468
21	Side Roll	Aspersores	101	Irridelco Wade Rain		3500	140		0,429

La mayoría de los equipos evaluados tomaban el agua para riego desde acuíferos subterráneos; sólo 4 de ellos se abastecieron de cursos superficiales. En general, los niveles de salinidad son bajos, dentro de los límites técnicamente admisibles para riego por aspersión, aun considerando que el área bajo estudio está en una gran región subhúmeda y que las precipitaciones -si bien concentradas- favorecen la lixiviación natural de las sales presentes. En todos los casos, bombas y equipos fueron accionados por motores de combustión, excepto los pequeños motores eléctricos montados en cada torre. Los pivotes contaron con instalaciones para 3 ó 4 círculos, regándose siempre 2 en la misma época, lo cual obligó a contemplar un tiempo de traslado.

Este tiempo, en 10 de dichos pivotes, fue realizado mediante arrastre; los otros 4 fueron de autotraslado. El área de cada círculo regado osciló entre 44 y 124 ha; en la mitad de ellos superó las 100 ha. Las velocidades de avance empleadas para riego fluctuaron entre el 30 y el 50 %, siendo los tiempos para el giro completo de 3 a 4 días; de tal manera, considerados los 2 traslados, pueden regresar al mismo círculo a los 10 días.

- Los parámetros correspondientes a calidad del riego (tabla 2) dieron un valor medio de 81,40 % para el coeficiente de uniformidad; una uniformidad de distribución promedio de 73,23 % y un coeficiente de variación entre 11,48 y 36,29 %, habiendo 8 equipos con valores inferiores al 20 %; 8, entre 20 y 30 % y 5, superando el 30 %.
- En cuanto al coeficiente de uniformidad en un equipo es bajo: menor de 70 %. En 8 es regular: (70 - 80 %); en 10, bueno: (80 - 90 %) y, finalmente, muy bueno -por encima del 90 %- en 2.
- La uniformidad de distribución estuvo por debajo del 60 % en un equipo; entre 60 % y 70 % en 7; entre 70 y 80 % en 6 y entre 80 y 90 % en los 7 restantes.

Tabla 2. Eficiencias e indicadores de la uniformidad del riego.

Muestra	C.E. (dS/m)	L _r (mm)	L _a (mm)	E _{apl} (%)	E _a (%)	UD (%)	CU (%)	CV (%)
1	1,2	35,09	15,00	100,00	42,75	80,96	87,31	15,52
2	0,6	94,69	19,28	100,00	20,36	83,51	89,20	16,38
3	1,1	59,49	15,48	100,00	26,02	83,35	87,80	14,81
4	0,9	55,06	9,40	100,00	17,07	80,09	86,94	16,76
5	1,2	50,37	42,74	100,00	84,85	82,33	90,36	12,58
6	0,7	37,06	10,73	100,00	28,95	66,43	74,72	30,88
7	0,8	63,47	7,21	100,00	11,36	64,26	76,10	31,83
8	0,9	39,30	26,50	100,00	67,43	87,02	88,88	15,12
9	1,2	25,38	7,50	100,00	29,55	69,81	80,92	22,89
10	1,2	27,03	10,06	100,00	37,22	60,04	75,56	31,40
11	1,2	55,86	16,90	100,00	30,25	66,42	78,12	27,51
12	1,1	45,60	15,57	100,00	34,14	78,16	78,02	21,23
13	1,1	36,97	10,54	100,00	28,51	72,36	73,69	34,83
14	1,6	3,53	10,25	34,44	100,00	79,60	85,18	18,88
15	1,5	95,66	11,34	100,00	11,85	75,15	81,39	24,76
16	1,1	73,12	34,81	100,00	47,61	79,61	84,29	22,78
17	1,2	42,74	20,08	100,00	46,98	71,74	83,96	20,07
18	1,6	68,17	20,51	100,00	30,09	85,90	90,82	11,48
19	2,1	76,94	49,22	100,00	63,97	66,80	79,65	29,02
20	1,1	58,25	10,93	100,00	18,76	63,37	77,53	27,62
21	1,1	51,63	11,93	100,00	23,11	50,88	68,89	36,29

Por lo tanto, en general los equipos trabajaron con uniformidad aceptable, a pesar de que algunos se desviaron bastante de la media. La tabla 2 (pág., 31) también muestra las eficiencias, observándose que la de aplicación es muy buena ya que -salvo en un equipo- es del 100 %. Esto es el resultado de que las láminas aplicadas fueron inferiores a las requeridas. No ocurre lo mismo con la eficiencia de almacenamiento en la que se observan muy bajos valores como producto del empleo de láminas de reposición muy inferiores a las requeridas. En el sector regado con equipos que presentan cañón terminal, si bien se incrementó la longitud de riego, la precipitación resultó diferente a la media del resto del equipo.

Con las velocidades empleadas, al comparar los valores de intensidad de precipitación con las velocidades de capacidad de infiltración (tabla 3) no se producen excesos que den lugar a escorrentía. Tampoco se observó en los equipos enrolladores ni en los de avance lateral.

Tabla 3. Infiltración instantánea de los suelos y pluviometría de los equipos

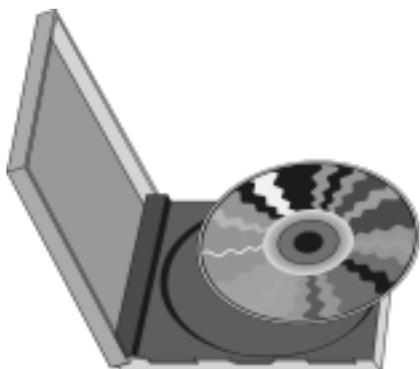
Muestra	Infiltración Inst. (I) (mm/h)	Tiempo de riego (t) (min.)	Inf. inst. en tiempo t (I _t) (mm/h)	Inf. inst. en tiempo t/2 (I _{t/2}) (mm/h)	Pluviometría media (mm/h)	Pluviometría máxima (mm/h)
1	398.65 t ^{-0.37}	14	149	193	63,3	81
2	295.26 t ^{-0.52}	33	48	69	34,9	44
3	438.72 t ^{-0.60}	15	87	132	62,6	80
4	95.48 t ^{-0.33}	15	39	49	36,8	47
5	448.90 t ^{-0.54}	59	54	77	43,6	56
6	560.04 t ^{-0.54}	19	114	166	34,0	43
7	681.20 t ^{-0.51}	10	215	306	45,2	57
8	865.91 t ^{-0.45}	34	176	241	46,2	59
9	322.23 t ^{-0.44}	14	100	136	43,3	55
10	572.76 t ^{-0.63}	14	108	167	47,9	61
11	498.20 t ^{-0.57}	40	61	90	52,2	66
12	438.37 t ^{-0.59}	30	59	89	40,6	52
13	560.04 t ^{-0.54}	30	89	129	40,6	52
14	576.88 t ^{-0.56}	59	59	87	49,7	63
15	485.76 t ^{-0.54}	10	138	200	43,6	56
16	296.76 t ^{-0.62}	11	67	103	59,6	76
17	240.77 t ^{-0.67}	52	17	27	13,8	18
18	206.11 t ^{-0.55}	47	25	36	12,8	16
19	232.32 t ^{-0.64}	74	15	23	13,7	17
20	428.69 t ^{-0.61}	149	20	31	6,3	8
21	585.62 t ^{-0.58}	100	41	61	6,3	8

CONCLUSIONES

- * Los coeficientes de uniformidad obtenidos, a pesar de ser aceptables, se encuentran por debajo del valor de 90 % especificado en los catálogos de venta de la mayoría de las empresas fabricantes.
- * En todos los casos evaluados las láminas de riego empleadas son bajas, dado que la programación se realizó basada en la operación del sistema y no en los requerimientos, contemplando superficies mayores a la capacidad de los equipos y frecuencias superiores a 8 días.
- * Como en todos los equipos de pivotes se regaron 2 círculos simultáneos no se logró cubrir en forma eficiente la demanda hídrica en los momentos de mayor requerimiento.
- * De acuerdo con la evaluación de intensidad de precipitación de los equipos con relación a la capacidad de infiltración de los suelos regados, se observó que en ninguno de los casos se produjo escorrentía, lo cual indica que los tiempos de riego empleados respecto a esta característica son adecuados.
- * Lo más importante del estudio efectuado fue la mala programación del riego en todos los establecimientos evaluados. La misma determinó bajos valores de eficiencia de almacenaje, que repercuten directamente sobre la producción de los cultivos regados.

BIBLIOGRAFÍA

1. Castillo, A.; R. Crespi; A. Rivetti y V. Rotondo. 1997. Respuesta al riego y a la fertilización de un cultivo de maíz (*Zea mays* L.) de ciclo corto. Rev. UNRío Cuarto. 17(1): 5-12.
2. Christiansen, J. E. 1942. Irrigation by sprinkling. Univ of California. Agric. Exp. Sta. Bull. 670. 124 pp.
3. Giayetto, O.; E. Bonadeo; R. Crespi; E. Fernández; J. Plevich; J. Conti y W. Asnal. 1991. Manejo del agua en el sistema suelo-cultivo de maní en secano y bajo riego. Comportamiento agronómico y economía de utilización del agua. VI Jorn. Nac. del maní. Gral. Cabrera. Córdoba. Argentina. 24-28.
4. Heermann, D. F. and Hein, P. R. 1968. Performance characteristics of self propelled center pivot sprinkler irrigation system. Transactions ASAE 11 (1): 11-15.
5. Keller, J. and Briesner, R. D. 1990. Sprinkle and trickle irrigation. Chapman & Hall. N.Y. USA. 652 pp.
6. Merriam, J. L.; M. N. Sheare and C. M. Burt. 1980. Evaluating irrigation systems and practices. In: Design and operation of farm irrigation systems. Ed. M. E. Jensen A.S.A.E. Michigan. USA. 721-726.
7. Puiatti, J. M. P.; R. J. Crespi; A. R. Rivetti; A. Cantero y G. Bonadeo. 1985. Respuesta del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) al riego y a la fertilización en la zona de Río Cuarto. XII Cong. Nac. del Agua. Mendoza. Argentina. 18 pp.
8. _____. 1985. Respuesta del cultivo del trigo (*Triticum aestivum* L.) a la fertilización en secano y bajo riego en la región de Río Cuarto. XII Cong. Nac. del Agua. Mendoza. Argentina. 30 pp.
9. _____. 1985. Respuesta de la soja (*Glycine max* L. Merrill) a diferentes condiciones hídricas, distancia entre hileras y fertilización. XII Cong. Nac. del Agua. Mendoza. Argentina. 33 pp.
10. Seiler, R.; R. Fabricius; R. Rotondo y M. Vinocur. 1995. Agroclimatología de Río IV. 1974-1993. Fac. Agr. y Vet. UNRío Cuarto. 60 pp.
11. Steel, R. G. D. and Torrie, J. H. 1960. Principles and rocedures of statistics. McGraw-Hill. N.Y. USA. 481 pp.



El Comité Editorial de nuestra Revista enfrenta una disyuntiva de no sencilla resolución. ¿Debe mantenerse impresa sobre papel? ¿Podría, como alternativa, distribuirse en CD-ROM? Sabido es que tanto el soporte celulósico como el óptico ofrecen ventajas y desventajas. Para tener idea de cómo repercutiría un eventual cambio en los usuarios agradeceríamos infinitamente un e-mail dirigido a:

ccea@fca.uncu.edu.ar

Será suficiente indicar en el encabezado una de las siguientes posibilidades:

1. Prefiero que sigan editando la revista sobre papel.
2. Me es indistinto cualquier soporte.
3. Prefiero que la revista comience a editarse en CD-ROM.

Sin querer abusar de su paciencia, si dispusiera de tiempo, agregue comentarios al respecto. Nos sería de extrema utilidad saber qué ocurre en otras latitudes y qué solución se ha dado al problema planteado.