

UNIFORMIDAD DE LOS SISTEMAS DE RIEGO POR ASPERSION EN EL POLIGONO DE LA LOMA DE QUINTO (ZARAGOZA)

Dechmi, F.¹ (P), Playán Jubillar, E.¹, Faci González, J.M²., Bercero, A.²

Resumen

Se presentan los resultados de una serie de evaluaciones de la uniformidad del riego por aspersión realizadas durante los años 87, 88 y 99 en la Loma de Quinto y en sus principales sistemas de riego (cobertura, pivote y laterales de avance frontal). Los valores de los coeficientes de uniformidad (CU) de Christiansen han resultado ser muy variables en las coberturas fijas. La media obtenida en este tipo de sistema es considerada relativamente baja. Se ha visto que la uniformidad del riego depende principalmente del marco. La uniformidad está afectada además por otros factores como la duración del riego, la presión de funcionamiento y la velocidad del viento. Un factor que podría ser relevante es el racheado del viento. Los laterales de avance frontal presentan la mejor uniformidad (80%) de entre los tres sistemas considerados. En pivotes y laterales se obtuvo un valor particularmente alto del CU en las máquinas en las que se han bajado las boquillas y en las que se regó con una velocidad del viento de entre 2 y 6 m/s.

Abstract

The results of sprinkler irrigation evaluations performed at the Loma de Quinto District are reported in this paper. The evaluations were performed during the 87, 88, 99 irrigation seasons in the main irrigation systems of the district (solid sets, linear-move and centre-pivot sprinkler machines). Results show that the values of Christiansen's Coefficient of uniformity (CU) were variable for solid sets. Their average CU was considered relatively low. Irrigation uniformity depends mainly on the sprinkler spacing. Other factors that have shown a relevant effect on uniformity are irrigation duration, pressure and wind speed. The time variability in the wind direction and intensity could have a relevant effect too. Linear-move sprinkler irrigation machines showed the best average CU (80%). The highest values of CU were obtained in irrigation machines in which the emitters had been lowered by the farmers and when the wind speed ranged between 2 and 6 m/s.

¹ Departamento de Genética y Producción Vegetal, Laboratorio de Agronomía y Medio Ambiente. EEAD-CSIC. Apdo. 202. 50080 Zaragoza. farida@eead.csic.es
playan@eead.csic.es

² Unidad de Suelos y Riegos, Laboratorio de Agronomía y Medio Ambiente. SIA-DGA. Apdo. 727. 50080 Zaragoza. faci@syrsig.mizar.csic.es abercero@syrsig.mizar.csic.es

Introducción

El agua representa el principal factor limitante de la producción agrícola en los medios áridos y semiáridos. Actualmente, la eficiencia de su uso se ha convertido en una gran preocupación en estas zonas. Muchos trabajos han definido diferentes criterios para la concepción y la evaluación de los regadíos (Merriam et al., 1978; Bos, 1985; Heermann et al., 1990 y Burt et al., 1997). Estos autores centran su atención en dos parámetros: la uniformidad y la eficiencia de riego.

En la cuenca del Ebro, Dechmi (1998) y Tejero (1999) realizaron estudios de caracterización del uso del agua en una zona regable con un sistema de riego a presión. Se trata de la comunidad de regantes de la Loma de Quinto, que está situada a 50 km de Zaragoza (España). En comparación con otras comunidades de la cuenca del Ebro, esta comunidad está caracterizada por un coste del agua elevado, debido al coste energético necesario para la elevación del agua a un embalse situado a 132 m sobre el nivel del río. Así el coste variable del agua en 1997 fue de 5.6 PTA/m³. Estos trabajos estuvieron enfocados principalmente sobre los criterios de eficiencia de riego.

Tradicionalmente se ha considerado que cada sistema de riego está caracterizado por unos determinados valores de uniformidad y eficiencia. Sin embargo, Keller et al. (1981) indicaron que la uniformidad depende de mucho más del manejo de los sistemas de riego que del tipo de sistema utilizado.

La uniformidad de distribución de agua en los sistemas de aspersión es necesaria para un uso más eficiente del agua disponible. Además un riego eficiente permite maximizar la producción y limitar las pérdidas por percolación profunda. Existen numerosos coeficientes para determinar la uniformidad del riego. Los parámetros más utilizados son el coeficiente de variación (CV), la uniformidad de distribución referida al 25% del área menos regada (UD) y el Coeficiente de Uniformidad (CU) de Christiansen (1942). Este último es el que con más frecuencia se utiliza en el riego por aspersión.

En este trabajo se presentan los resultados de una serie de evaluaciones de riego realizadas en la Loma de Quinto en coberturas totales de aspersión, pivotes y laterales de avance frontal (*rangers*). Los objetivos de este trabajo son: 1) caracterizar la uniformidad de riego de los distintos sistemas en la zona; 2) analizar el efecto de factores como la velocidad del viento, la presión, el marco de aspersión, la duración del riego y la elevación de los emisores sobre la distribución del agua en la parcela; y 3) confeccionar una base de datos para calibrar un modelo de simulación del riego por aspersión que está actualmente en fase de desarrollo.

Material y métodos

Desde la puesta en marcha del regadío en la Loma de Quinto se han venido realizando evaluaciones de riego en los tres principales sistemas de aspersión instalados. Estas evaluaciones se han realizado en los años 1987, 1988 y 1999. En todos los casos se utilizó la metodología propuesta por Merriam y Keller (1978) y ampliada posteriormente por Merriam et al. (1980).

En los sistemas de cobertura total se realizaron 13 evaluaciones. Un total de 11 de ellas se hicieron con el marco 21 x 18. Este marco es el que se utiliza en el 79% de la superficie equipada por los sistemas fijos de la Loma (Tejero, 1999). Las dos evaluaciones restantes se hicieron con el marco 18 x 18, que sólo representa un 12% de la Loma. Todas las coberturas de aspersión en la Loma de Quinto son triangulares. En cada evaluación se realizaron medidas de la presión en boquilla, del caudal de los aspersores, de la velocidad de giro de los mismos y de la pluviometría recogida en una red de pluviómetros instalados a un marco de 3 m x 3 m establecido dentro del marco de los aspersores. La duración de los riegos fue en ocasiones la normal elegida por los agricultores, mientras que en otros casos se realizaron riegos más cortos a conveniencia de los evaluadores.

En los pivotes y laterales de avance frontal se hicieron 16 y 11 evaluaciones, respectivamente. En cada caso se midió la velocidad de avance de la última torre, la anchura de la franja mojada y la pluviometría recogida. Todos los pivotes y laterales evaluados resultaron ser de la marca VALMONT. Los emisores instalados en las máquinas eran en todos los casos toberas pulverizadoras de tipo "spray". Los emisores estaban situados a una altura media de 4,5 m sobre el suelo, salvo en tres casos de máquinas laterales en los cuales los emisores habían sido bajados por los agricultores a 1 y 2 m sobre suelo, respectivamente. En la mayoría de los casos no fue posible medir la presión de funcionamiento de los pivotes ya que o bien no había manómetro instalado en la máquina o bien éste no funcionaba. Los pluviómetros se instalaron con una equidistancia de 3 m.

En todas las evaluaciones de los tres sistemas de riego se midió la velocidad y dirección del viento al inicio, en el intermedio y al final de la evaluación. Con la altura de agua recogida en los pluviómetros, se calculó el coeficiente de uniformidad (CU) desarrollado por Christiansen (1942):

$$CU = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n |z_i - m|}{n m} \right) 100 \quad [1]$$

donde:

m = Altura media del agua recogida en los pluviómetros.

z_i = Altura de agua recogida en el pluviómetro i -ésimo

n = Número total de pluviómetros.

El CU de los pivotes se calculó ponderando las alturas de agua recogidas con las superficies asignadas a cada pluviómetro.

Resultados y discusión

Coberturas fijas

La tabla 1 presenta un resumen de los resultados obtenidos en las 13 evaluaciones de sistemas de cobertura fija. En la tabla se detalla para cada evaluación el marco, el diámetro de la boquilla, la presión medida en un aspersor, el viento medio durante el ensayo, la duración del riego y el valor del CU. La tabla 2 presenta algunos estadísticos

del coeficiente de uniformidad en función de algunas variables. Se puede observar que existe una amplia variación de los coeficientes de uniformidad obtenidos en las distintas evaluaciones, con un valor mínimo de 38,8% y un valor máximo de 88,1%. La media del CU resultó ser de 68,0%. Para este tipo de sistema de riego, Keller y Bliesner (1990) consideran esta uniformidad media como relativamente baja (hasta un 75%). Según Cuenca (1989), la eficiencia potencial de las coberturas totales estaría entre un 70% en diseños para bajo viento y un 82% en diseños para alto viento.

Tabla 1: Resumen de los resultados obtenidos en los sistemas de cobertura fija de la Loma de Quinto de Ebro

	Marco	Φ boquillas (mm)	Presión (bar)	Viento (m/s)	Duración del riego (h)	CU (%)
1	21 x 18	5,1	3,8	2,49	2,50	77,5
2	21 x 18	5,1	4,3	0,34	2,00	76,4
3	21 x 18	5,1	4,5	0,30	2,00	70,0
4	21 x 18	5,1	4,5	11,66	2,41	72,5
5	21 x 18	5,1	4,6	2,34	2,31	67,0
6	21 x 18	5,1	4,6	5,76	2,58	50,3
7	21 x 18	5,1	4,5	6,11	2,00	66,3
8	21 x 18	5,1	4,6	5,49	1,66	48,9
9	21 x 18	5,1	4,6	3,49	3,03	72,2
10	21 x 18	4,4 x 2,2	2,8	5,25	2,14	38,8
11	21 x 18	4,8 x 2,2	3,6	5,00	6,00	66,2
12	18 x 18	5,1 x 2,2	2,2	1,40	2,00	86,5
13	18 x 18	5,1 x 2,2	2,1	2,80	6,00	88,1

El valor más alto del CU (88.1 %) corresponde a un marco de 18 x 18 con una presión baja (2,1 bar) y una velocidad de viento igual a 2,8 m/s. Faci et al. (1991), encontraron, para las coberturas de Quinto, un valor umbral de la velocidad del viento a partir del cual se produce un descenso acusado de la uniformidad del riego. El valor umbral resultó ser igual a 2,11 m/s en las condiciones experimentales. Este valor es inferior al registrado en la evaluación que mostró mejores resultados, por lo que la uniformidad potencial del marco 18 x 18 parece que sería superior a la medida, particularmente si la presión fuera más elevada y el viento más bajo.

El valor de uniformidad más bajo entre las evaluaciones realizadas corresponde a un caso con un marco de 21 x 18, una baja presión (2,8 bar) y una velocidad de viento elevada (5,25 m/s). En estas condiciones, los tres factores considerados son desfavorables, por lo que no resulta extraño que la uniformidad sea mínima.

El análisis de la tabla 2 permite extraer conclusiones acerca de la importancia de los distintos factores. Así, cuando se considera el marco de aspersión, es el marco 18 x 18 el que da mejores resultados (CU = 87,3%, 23 puntos porcentuales sobre la media del 21 x 18).

Tabla 2: Resumen de los valores del CU en función del marco, presión y viento

	Total	Marco		Presión (bar)		Viento (m/s)	
		18 x 18	21 x 18	< 4	>4	< 2	> 2
Nº evaluaciones	13	2	11	5	8	3	10
CU medio (%)	68,0	87,3	64,5	71,4	65,8	77,7	65,1
CU máximo (%)	88,1	88,1	77,5	88,1	76,5	86,5	88,1
CU mínimo (%)	38,8	86,5	38,8	38,8	48,9	70,0	38,8

La tabla 2 presenta los datos de uniformidad separados en función de la presión en el aspersor. Ramón (1988) realizó un estudio acerca de las presiones de funcionamiento de los aspersores de Quinto que producían uniformidades óptimas. En este estudio, recomendó una presión de 3,5 bar. Los resultados obtenidos en este trabajo muestran que cuando la presión se sitúa por encima de 4 bar la uniformidad cae cerca de 6 puntos. Se observa también que en algunos casos de presión alta, se obtuvo una misma uniformidad de distribución de agua independientemente de la velocidad del viento (véase evaluaciones 4 y 9 en tabla 1). Esto significa que la uniformidad está afectada además por otros factores como la dirección del viento, la duración del riego o el racheado del viento en dirección e intensidad.

Finalmente, la tabla 2 presenta el efecto del viento sobre la uniformidad, separando las medias con un umbral de 2 m/s, similar al propuesto por Faci et al. (1991). El valor medio del CU con velocidades de viento bajas es mejor que los con un viento superior a 2 m/s.

El efecto de la duración del riego parece estar bien ilustrado en las parcelas equipadas con el marco 18 x 18 (evaluaciones 12 y 13, tabla 1). La principal diferencia entre ambas evaluaciones estriba en la duración del riego (2 y 6 horas, respectivamente). La mayor uniformidad de riego se obtuvo en la de 6 horas (88%) aunque la velocidad media del viento fue el doble de la evaluación de 2 horas. Esto puede ser debido a que los cambios de dirección e intensidad del viento que pueden producirse a lo largo de una evaluación pueden resultar en un incremento de la uniformidad.

Pivotes y laterales de avance frontal

La tabla 3 presenta un resumen de los resultados obtenidos en 10 evaluaciones realizadas en pivotes. Un total de 6 evaluaciones no han sido incluidas en esta tabla porque faltaban simultáneamente los valores de presión y de velocidad del viento. Sin embargo, estas evaluaciones se han considerado en los cálculos de la media del CU. En la tabla se detalla para cada evaluación la longitud, el número de pluviómetros, la presión medida en el último ramal, el viento medio durante el ensayo y el valor del CU. Se destaca sólo un riego muy poco uniforme (evaluación 8, con CU = 58,6%). En el resto de las evaluaciones, el CU varió de 70,4% a 90,0%.

Tabla 3: *Resumen de los resultados obtenidos en las evaluaciones de pivote*

Nº de evaluación	Longitud (m)	Nº de pluviómetros	Presión (bar)	Viento (m/s)	CU (%)
1	280	60	2,2	1,4	70,4
2	280	60	2,2	-	90,0
3	280	60	2,2	-	73,9
4	340	52	2,6	3,5	86,1
5	208	39	2,8	1,3	73,1
6	208	39	2,8	0,8	83,6
7	195	65	-	2,6	85,5
8	204	68	-	1,7	58,6
9	141	47	-	0,5	77,0
10	159	53	-	3,3	76,6

La tabla 4 presenta un resumen de los resultados obtenidos en 9 evaluaciones de máquinas laterales. No se consideraron otras 2 evaluaciones en esta tabla por no disponer de los valores ni de presión ni de viento. Sin embargo, estas evaluaciones se han considerado en los cálculos de la media del CU. Se detallan para cada evaluación los mismos factores que el pivote. Se observa que los valores del CU obtenidos son superiores al valor umbral establecido por Keller y Bliesner (1990) para una uniformidad "moderadamente baja" salvo en la evaluación nº 5 (CU igual a 50,7%).

Tabla 4: *Resumen de los resultados obtenidos en las evaluaciones de las máquinas laterales de avance frontal*

Nº de evaluación	Longitud (m)	Nº de Pluviómetros	Presión (bar)	Viento (m/s)	CU (%)
1	280	50	0,7	0,5	82,8
2	280	50	1,0	0,0	87,2
3	280	50	1,2	3,9	78,9
4	-	32	-	5,7	87,3
5	-	32	-	0,4	50,7
6	190	63	-	2,0	86,5
7	105	82	-	1,9	78,6
8	240	37	-	4,5	77,0
9	261	87	-	1,8	95,9

Según Cuenca (1989), el coeficiente de uniformidad potencial de los pivotes y laterales de avance frontal es del 90%. Este valor sólo se alcanza en Quinto en el 6,2% de los pivotes y en el 9% de los laterales.

La tabla 5 resume los resultados del coeficiente de uniformidad en función del viento y de la altura de las boquillas sobre el suelo para las evaluaciones realizadas en los pivotes y laterales de avance frontal. En los pivotes, los CU obtenidos variaron entre el 42% y 90%, con una media de 75,5%. En cuanto a la presión en el último ramal, se ésta se midió solamente en 6 pivotes, en los que varió entre 2,2 y 2,8 bar.

Los laterales de avance frontal presentan una mejor distribución de agua (CU media = 80%, con valores extremos de 50,7% y 95,9%). El más alto valor medio del CU alcanzado con este sistema de riego se ha obtenido en los laterales en los cuales los agricultores bajaron las boquillas. En este caso, la uniformidad resulta ser superior en casi 8 puntos porcentuales. Montero et al. (1999) - trabajando en pivotes - encontraron un resultado contradictorio: la uniformidad de riego disminuye ligeramente (con diferencias no significativas) cuando menor es la altura.

Tabla 5: Resumen de los coeficientes de uniformidad de las evaluaciones realizadas en los pivotes y laterales de avance frontal.

	Total	Viento (m/s)		Altura Boquillas	
		0- 2	2 - 6	1-2 m	4,5 m
Pivotes:					
Nº evaluaciones	16	5	3	-	-
CU medio	75,5	72,5	82,7	-	-
CU máximo	90,0	83,6	86,1	-	-
CU mínimo	42,0	58,6	76,6	-	-
Laterales:					
Nº evaluaciones	11	4	5	3	8
CU medio	80,0	79,1	81,6	83,8	75,9
CU máximo	95,9	95,9	87,2	95,9	87,2
CU mínimo	50,7	50,7	77,0	77,0	50,7

En los dos tipos de maquinas, se observa que la uniformidad media obtenida con una velocidad de viento entre 2 y 6 m/s es mayor que la que se obtiene con un viento inferior a 2m/s. Esto se puede explicar por el hecho que con las boquillas aisladas de tipo “spray”, los valores más altos de pluviometría se registran en una zona con forma de corona circular. En el resto del área mojada por este tipo de emisores, la cantidad de agua es mínima (Salvador, 1999). Esta autora, solapando matemáticamente las distribuciones obtenidas con este tipo de boquillas, encontró que la velocidad del viento puede hacer aumentar la uniformidad, siempre que se trata de vientos suaves a moderados.

Conclusiones

Los resultados obtenidos muestran que existen muchos factores que afectan a la uniformidad del riego en la Loma de Quinto. Estos factores son tanto de diseño (marco de aspersores, altura de los emisores) como de funcionamiento (presión, duración del riego o viento). Ha resultado difícil con el volumen de datos disponible cuantificar el impacto de cada factor ya que en la mayoría de los casos éstos actúan conjuntamente. Los modelos de simulación pueden ayudar a encontrar la relación entre la uniformidad de distribución de riego y los factores citados. Esta información resulta muy importante para mejorar el diseño de los sistemas de riego en esta zona.

En los sistemas de cobertura fijos, el valor de la uniformidad media obtenida en Quinto es bajo. Esto implica que las perdidas por percolación pueden ser grandes si se aplica un riego no deficitario. En un trabajo anterior en la zona (Dechmi, 1998), se

observó que frecuentemente el agua aplicada en cada riego fue superior a la reserva fácilmente utilizable del suelo. Se sabe que en mismo suelo, se puede producir una compensación de la no-uniformidad del riego en la parcela debido al potencial vertical y horizontal del agua en el suelo y las raíces del cultivo (Hart, 1972; Wallach, 1990). Sin embargo, los altos intervalos entre riego que aplican los agricultores en Quinto hacen que este proceso de compensación no sea suficiente para evitar el estrés hídrico. Esto hace que el rendimiento probablemente se vea afectado en una cantidad superior al 13% que ya se detectó en la zona para el cultivo de alfalfa (Dechmi, 1998).

Las encuestas sobre el uso del agua realizadas por Tejero, (1999) mostraron que debido al elevado precio del agua, los agricultores realizan riegos deficitarios que tienden a maximizar la producción por unidad de agua en lugar de por unidad de superficie. Si analizamos el efecto acumulativo de la baja uniformidad de riego (en las coberturas), la baja reserva útil del suelo (en buena parte de la superficie), las dosis de riego altas, el gran intervalo entre los riegos y el riego deficitario, se puede concluir que el agricultor no llega a maximizar la producción por unidad de agua aplicada en este regadío.

El marco de aspersión ha resultado ser la variable que más efecto muestra en la uniformidad de riego. La duración del riego parece tener un efecto sobre la uniformidad, en el sentido de que a mayor duración del riego mayor es la uniformidad. Con presiones altas (excesivas para el aspersor utilizado) el CU medio resultó ser muy bajo. Esto puede ser debido al que las gotas resultantes son mucho más pequeñas y son más fácilmente arrastradas por el viento. Se destacó la importancia del viento sobre la uniformidad de riego, aunque el estudio de los valores medios del CU no indica que el viento sea el factor más relevante.

Los laterales presentan mejor uniformidad de distribución de riego que los pivotes y la cobertura fija. En las máquinas de riego sólo se pudo analizar el efecto de la velocidad del viento y la altura de las boquillas sobre el suelo. El mayor valor medio del CU se obtuvo en las máquinas en las que se habían bajado las boquillas. Se obtuvo un CU medio superior con una velocidad de viento entre 2 y 6 m/s que con un viento de velocidad baja.

Agradecimientos

Al CONSI+D de la Diputación General de Aragón por la financiación del proyecto P-08/96. Agradecemos su colaboración a la Comunidad de Regantes de la Loma de Quinto. A Raquel Salvador y Miguel Tejero, por su ayuda en las evaluaciones en el campo.

Referencias

- Bos M. G. (1985). Summary of ICID definitions on irrigation efficiency. ICID Bulletin, 344 (1). pp : 28-35
- Burt C. M., Clemmens A. J., Strelkoff T. S., Solomon K. H., Bliesner R. D, Hardy L. A., Howell T. A., Membres ASCE et Eisenhauer D. E., (1997). Irrigation

- performance measures : Efficiency and Uniformity. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, Vol. 123(6): 423-442.
- Christiansen J. E., (1942). *Irrigation by Sprinkling*. Univ. Of California. Agric. Exp. Sta. Bull. 670, 124 pp.
- Cuenca, R. H. (1989). *Irrigation system design: an engineering approach*. Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice-Hall, Inc. 552 pp.
- Dechmi F., (1998). *Étude de l'utilisation de l'eau dans la communauté d'irriguants de la Loma de Quinto de Ebro*. Tesis de MSc, IAMZ (Centro Internacional de Altos Estudios Agronómicos Mediterráneos). 135 pp.
- Faci J. M., Bercero A., (1991). Efecto del viento en la uniformidad y en las pérdidas por evaporación y arrastre en el riego por aspersión. *Invest. agr.: prod. prot. ve.g.* 6(2): 97-117
- Hart WE, (1972). Subsurface distribution of nonuniformity applied surface waters. *Transactions of ASAE* 15(4): 656-661, 666.
- Heermann D. F., Wallender W. W et Bos M. G., (1990). Irrigation efficiency and uniformity. En *Management of Farm Irrigation Systems*. Hoffman G. J., Howell T. A. et Solomon K. H. Eds. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, Mich. pp : 125-149.
- Keller J., Corey, Walker W. R. Vavra M. E., (1981). Evaluation of Irrigation Systems. 95-105. En: *Irrigation Challenges og the 80's*. ASAE. St. Joseph. Michigan. USA.
- Keller, J. and R. D. Bliesner (1990). *Sprinkle and trickle irrigation*. New York, NY, Van Nostrand Reinhold. PP: 652
- Merriam J. L., Keller J., (1978). *Farm irrigation system evaluation : A guide for management*. Utah State University, Logan. Utah, USA. pp: 271
- Merriam J. L., Sheare M.N., Burt C. M., (1980). Evaluating irrigation systems and practices. En: *Design and operation of farm irrigation systems*. Ed M. E. Jensen. ASAE. Michigan. USA. pp: 721-776
- Montero M., Tarjuelo J.M., Honrubia F.T., Ortiz J., Valiente M., Sánchez C. (1999). Influencia de la Altura del Emisor sobre la eficiencia y la uniformidad en el reparto de agua con equipos pívot. XVII Congreso Nacional de riegos AERYD, Murcia. pp 227- 234.
- Ramón, S. (1998). Efecto del viento sobre las pérdidas de evaporación y arrastre y sobre le uniformidad del riego por aspersión. Proyecto fin de carrera, EUPH, Universidad de Zaragoza. 102 pp.
- Salvador, R. (1999). Estudio comparativo de boquillas "Rotator" y Spray" para máquinas de riego por aspersión. Trabajo de fin de carrera, Escuela universitaria politécnica de Huesca. Universidad de Zaragoza. pp: 151
- Tejero, J. M, (1999). Caracterización de los regadíos de la Loma de Quinto de Ebro. Trabajo de fin de carrera, Escuela universitaria politécnica de Huesca. Universidad de Zaragoza. 106 pp.
- Wallach R., (1990). Effective irrigation uniformity as related to root zone depth. *Irrig. Sci.* 11: 15-21.