

ESTUDIO DE LOS FACTORES QUE DETERMINAN EL USO DEL AGUA EN EL POLIGONO DE LA LOMA DE QUINTO DE EBRO

Dechmi, F.¹ (P), Playán, E.¹, Faci, J.M.²

Resumen

Se estudió el uso del agua en la Comunidad de Regantes de La Loma de Quinto de Ebro. En primer lugar se analizaron los consumos estacionales de agua de riego durante tres años diferentes desde un punto de vista de la demanda evaporativa existente y se estudió su evolución en el tiempo. En segundo lugar, se hizo un análisis de los factores que pueden influir en la eficiencia del riego durante el periodo estudiado. Por último, se evaluó el efecto del manejo actual sobre el rendimiento y el beneficio del regante. Los resultados indicaron que los agricultores sometieron a los cultivos a un nivel de estrés variable en el tiempo. El estrés fue causado por un déficit de la cantidad de agua de riego aplicada y por un amplio intervalo entre riegos. La aplicación de una programación de riego permite al agricultor alcanzar un beneficio medio de 23.000 Pts ha⁻¹. Los factores que determinaron el uso del agua estacional fueron el cultivo, el sistema de riego y la superficie de la parcela.

Abstract

Irrigation water use was studied in the Irrigation District of la Loma de Quinto de Ebro. First, seasonal volumes of irrigation water were analysed during three years of different evaporative demand. Their evolution with time was also studied. Second, a study of the factors affecting irrigation efficiency was performed. Last, the effect of irrigation management on crop yield farmers' benefit were analysed. Results show that farmers applied to their crops a stress level variable in time. Water stress was caused by deficit irrigation and by large irrigation intervals. The application of a proper irrigation schedule could allow farmers to improve their benefit by 23.000 Pts ha⁻¹. The seasonal amount of water used was determined by the following factors: the crop, the irrigation system and the plot area.

Introducción

En la cuenca del Ebro se han realizado algunos estudios detallados sobre el uso del agua en comunidades de riego por superficie (Bensaci, 1996; Slatni, 1996). En general, estos sistemas tradicionales presentan una eficiencia de riego baja. En la misma línea, existen pocos datos sobre la eficiencia que alcanzan los sistemas de riego por aspersión en esta zona. Estos nuevos sistemas de riego tienen la capacidad, cuando son bien manejados, de alcanzar un buen nivel de eficiencia. Actualmente, la consecución

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

de altas eficiencias de riego es un objetivo tan importante como la propia producción agrícola.

Dechmi (1998), realizó un estudio de caracterización del uso del riego en un zona regable con un sistema de riego a presión. Se trata de la comunidad de regantes de la Loma de Quinto de Ebro que está situada a 50 km de Zaragoza (España). Es un regadío de 2.500 ha equipado con distintos sistemas de riego por aspersión y alguna pequeña instalación de riego localizado. El coste del agua de riego en esa comunidad es elevado en comparación con otras comunidades de la cuenca del Ebro.

Asimismo, Dechmi et al. (1998) estudiaron el uso diario de agua de riego en 17 parcelas del polígono de riego de la Loma de Quinto de Ebro durante el año 97. En dicho trabajo se realizó un primer análisis de los factores que influyeron en la eficiencia del riego. Así, se identificaron los factores siguientes: la superficie de la parcela, el viento y el intervalo entre riegos.

En esta comunicación se analiza en primer lugar el uso de agua estacional en todas las parcelas de la Loma durante los años 89, 95 y 97. El objetivo es evaluar el manejo del riego durante estos tres periodos y analizar su evolución en el tiempo. Posteriormente, se retoman los datos de algunas de las 17 parcelas para presentar una simulación de los efectos del riego sobre el cultivo y una programación de riegos óptima. Los efectos beneficiosos de la programación del riego se evalúan económicamente.

Material y métodos

El estudio se hizo para tres periodos diferentes desde el punto de vista de la demanda evaporativa. Se eligieron los años 89, 95 y 97 que corresponden respectivamente a un año seco ($ET_o = 1377$ mm), un año medio ($ET_o = 1250$ mm) y un año húmedo ($ET_o = 998$ mm). El cálculo de las necesidades hídricas de los principales cultivos (NHC, mm) durante los periodos estudiados se hizo mediante la metodología de la FAO (Doorendos y al, 1977) y el modelo *CROPWAT* (Smith, 1993). Se utilizaron los datos climáticos de la estación meteorológica de Quinto de Ebro. Para completar los datos de la humedad mínima del aire y la insolación solar, se utilizó la estación de Zaragoza Aeropuerto. A partir del mapa de suelos (Artieda, 1998), se definieron cinco clases de suelos en función de su reserva útil de agua (RU, mm, calculada como dos terceras partes del agua almacenada en el perfil entre capacidad de campo y punto de marchitez). La clasificación se presenta en la tabla I.

Tabla I. Clases de suelos según sus reserva útil (RU)

Clases de suelo	S1	S2	S3	S4	S5
RU (mm)	0 – 25	26 - 100	101 - 150	151 – 200	> 201

Los datos del uso de agua (mm) durante los años 89, 95 y 97 fueron obtenidos de los archivos de facturación de la Comunidad de Regantes de la Loma para cada parcela. Los cultivos sembrados en el año 97 y los sistemas de riego de cada parcela fueron identificados directamente en el campo. Los cultivos de los años 89 y 95 provienen respectivamente de un inventario (Casterad, 1990) y de los datos de la PAC (Gobierno de Aragón, 1998). Esta información fue adaptada para crear una base de datos

georreferenciada a escala de la parcela catastral mediante el sistema de información geográfica ArcView.

La caracterización del manejo del riego en la zona regable se hizo mediante la determinación del índice estacional de la calidad de riego (IECR). Este índice está definido como el porcentaje de las necesidades hídricas estacionales (mm) sobre el volumen facturado por la comunidad de regantes de la Loma en cada parcela (mm). Cuando el IECR supera el 100%, indica un riego deficitario. Los valores de IECR encontrados fueron utilizados para estimar la eficiencia de riego que se utilizó posteriormente en los apartados de simulación y programación.

El análisis de los factores que determinan el manejo del riego se hizo mediante regresión múltiple. Las variables dependientes estudiadas fueron el uso de agua y el IECR. La superficie de la parcela fue introducida en el análisis como una variable independiente de tipo cuantitativa. La mayoría de las variables independientes resultaron ser cualitativas, lo que obligó a usar la técnica de las variables "dummy". Así, se consideraron variables como el cultivo, el sistema de riego, la clase de suelo según su reserva en agua y el tipo de regante (propietario o arrendatario). Para cada año se hicieron varios análisis de manera iterativa. En principio se usaron todas las variables independientes. Posteriormente se eliminaron las variables no significativas una a una hasta la obtención del modelo final. El nivel de probabilidad considerado en los análisis estadísticos fue del 10%.

Para evaluar la incidencia de las prácticas de riego sobre la producción y el uso del agua, se realizó una simulación y una programación óptima de riego. La programación óptima es aquella que permite al cultivo alcanzar su rendimiento máximo al tiempo que se usa la mínima cantidad de agua de riego. Se utilizaron los datos de la campaña 1997 de 11 parcelas, utilizando el programa CROPWAT (Smith, 1993). Los cultivos de estas parcelas fueron alfalfa, maíz y trigo. Se realizó un estudio económico para evaluar el efecto del manejo de riego en la Loma de Quinto de Ebro sobre el beneficio de la explotación. Este estudio se basó en la cuantificación del beneficio y del coste de la introducción de una programación de riego en las parcelas de alfalfa. El beneficio corresponde a los ingresos que resultan del aumento del rendimiento. El coste correspondiente es debido a la cantidad de agua resultante de la diferencia entre la práctica del regante y la programación del riego. Se consideró una producción máxima de heno de alfalfa de $15.000 \text{ kg ha}^{-1}$ y se aplicaron precios de 16 Pts kg^{-1} de heno de alfalfa y 5,6 Pts m^3 de agua en 97.

Resultados y discusión

- **Cultivos y uso de agua**

Los cultivos principales en 1989 fueron el maíz y los cereales de invierno. El porcentaje de la superficie ocupada por estos dos cultivos en 1989 fue de 33,7% y 35,7%, respectivamente. En los años 95 y 97 la alfalfa fue el cultivo mayoritario, ocupando un 44% de la superficie total de la Loma de Quinto de Ebro. El uso de agua de riego estacional varió sustancialmente durante los periodos estudiados. En el año 1995, se registró el mayor volumen estacional de agua de riego ($21,7 \text{ hm}^3$). Durante los años 89 y 97, el uso estacional de riego en la comunidad de la Loma fue $10,9 \text{ hm}^3$ y $13,2 \text{ hm}^3$, respectivamente. Los usos medios durante los años 89, 95 y 97 fueron de

4.986 m³/ha, 11.616 m³/ha y 6.440 m³/ha, respectivamente. La tabla II presenta los usos medios y las necesidades hídricas de los principales cultivos durante los tres años estudiados. Se observa que los usos medios en alfalfa, maíz, girasol y trigo fueron superiores a las necesidades hídricas de los cultivos durante el año 95. En el año 97, el maíz fue el único cultivo que cubrió sus necesidades hídricas. Hay que destacar que los valores altos de los coeficientes de variación (CV) obtenidos indican que existe un gran dispersión en los datos del uso de agua.

Tabla II. Valores estacionales de las necesidades hídricas netas de riego y cantidad de agua usada por *cultivo durante los años 89, 95 y 97*

	Alfalfa			Maíz			Girasol			Trigo		
	89	95	97	89	95	97	89	95	97	89	95	97
NHC(mm)	969	979	718	761	688	471	635	570	380	396	433	341
Uso (mm)	773	1163	693	600	813	602	592	719	270	338	762	434
CV (%)	37	30	41	33	29	28	27	50	63	51	35	57

- **Indice estacional de calidad de riego (IECR)**

Los resultados de los cálculos del IECR para la caracterización del manejo del agua de riego en los cultivos de la Loma de Quinto de Ebro se presentan en la tabla III. Se puede observar que para alfalfa y trigo el riego fue deficitario durante los años 89 y 97 (IECR > 100%). Para el maíz, el riego fue deficitario durante el año 89. El IECR del girasol indica un riego deficitario durante los tres años del estudio. En el año 95, los valores de IECR de alfalfa, el maíz y el trigo variaron entre 71% y 92%. Eso indica que los agricultores realizaron un buen manejo de riego para un año climático medio.

Tabla III. Valores del Índice Estacional de Calidad de riego medio

	Alfalfa			Maíz			Girasol			Trigo		
	89	95	97	89	95	97	98	95	97	89	95	97
IECR (%)	150	92	141	152	91	89	118	126	181	150	71	117
CV (%)	51	41	84	64	25	60	33	84	39	53	63	73

Para caracterizar la evolución en el tiempo del IECR medio de toda la Loma, se calcularon las medias anuales de los valores del IECR de los tres años obtenidas para las mismas parcelas. Los valores medios fueron 155%, 95% y 131% para 89, 95 y 97, respectivamente. A partir de estos valores, resulta difícil extraer conclusiones relativas a la evolución en el tiempo de este índice. Sin embargo, es evidente que los agricultores sometieron a sus cultivos a un nivel de estrés considerable y variable en el tiempo. Los coeficientes de variación fueron elevados.

Por otro lado, se estudió la correlación entre los valores del IECR de cada parcela en los tres años estudiados. Este análisis puede indicar si se han usado los mismos criterios para decidir la cantidad de agua aplicada en cada parcela, independientemente del cultivo y de la demanda climática. Los resultados obtenidos se resumen en la tabla IV.

Se encontró una correlación débil entre el IECR de los años 89 y 95. El IECR de 1989 no mostró ninguna correlación significativa con el de 1997. Esto significa que los criterios para la elección de la dosis de riego han evolucionado desde la transformación en regadío. En cuanto a la correlación entre los valores de IECR de los años 95 y 97,

ésta resulta significativa. Este resultado confirma que los criterios de aplicación del agua de riego han sido semejantes durante los años 1995 y 1997, una vez pasados unos años de la puesta en regadío.

Tabla IV. *Matriz de correlación entre los valores Del Índice Estacional de Calidad del riego(IECR) de los años de estudio*

	IECR 89	IECR 95	IECR 97
IECR 89	1,000	0,168 *	0,139 ns
IECR 95		1,000	0,484 ***
IECR 97			1,000

^{ns} indica no significativo; * indica $0.05 \geq P > 0.01$; *** indica $0.001 \geq P$.

- **Análisis de los factores que han determinado el uso del agua y el IECR**

Durante el año 89, los factores que determinaron el uso de agua fueron el cultivo y la superficie de la parcela. La tabla V presenta el modelo estadístico final de regresión múltiple del uso del agua de riego durante el año 89.

Tabla V. *Modelo estadístico final del uso del agua de riego durante el año 1989*

Variable	Nivel	Coficiente	Error Standard	P
Constante		889,4	69,0	0.000
Superficie		-4,2	2,1	0.048
Cultivo	Alfalfa	0,0	-	-
	Maíz	-245,6	72,0	0.000
	Trigo	-509,7	72,0	0.000

Según el modelo estadístico, el uso de agua baja ligeramente cuando la superficie de la parcela aumenta: para cada aumento de la superficie de 1 ha, el uso de agua baja en 4 mm. Los análisis estadísticos indican también que para el maíz y el trigo, el uso de agua medio resultó inferior al de la alfalfa en 245 mm y 509 mm, respectivamente.

Los factores que determinaron el uso del agua durante la campaña de 1995 fueron el cultivo y el sistema de riego. Según los resultados estadísticos, se aplicó para el maíz, el girasol y el trigo una cantidad media de agua inferior a la de alfalfa en 207 mm, 515 mm y 473 mm, respectivamente. En cuanto a los sistemas de riego, sólo las máquinas autotransportadas con movimiento lateral presentaron una diferencia significativa con el sistema de aspersión en cobertura total. El modelo estadístico estimó una aplicación de agua inferior en 190 mm a la cobertura total.

En la campaña de riego de 1997, los factores que mostraron influencia sobre el uso de agua fueron el cultivo, el sistema de riego y la superficie de la parcela: La cantidad de agua aplicada al maíz, girasol y trigo resultaron inferiores a la de alfalfa en 86 mm, 382 mm y 313 mm, respectivamente. Los pivotes y las máquinas autotransportadas con movimiento lateral mostraron una diferencia en la aplicación de agua respecto a la cobertura total débil y no significativa. Como en el año 1989, en esta campaña, la cantidad de agua aplicada disminuyó al aumentar la superficie de la

parcela. En este caso, la disminución se estimó en 5 mm por ha. Hay que destacar que los factores que no mostraron una relación estadística con el uso del agua durante los tres años estudiados fueron el tipo de regante y el tipo de suelo.

En cuanto al IECR, se obtuvieron modelos de regresión en los cuales el número de factores fue importante hacia el final del periodo de estudio. En el año 89, el IECR no fue explicado por ninguna variable. En 1995, el girasol fue el único cultivo significativamente diferente de alfalfa. En el año 1997, los factores que mostraron una influencia sobre los valores del IECR fueron el cultivo, el sistema de riego y el suelo. La tabla VI presenta el modelo estadístico final relativo a los valores del índice estacional de calidad de riego en el año 1997.

Tabla VI. *Modelo estadístico final relativo a los valores del Índice estacional de calidad de riego (IECR) durante la campaña de riego de 1997*

variable	Nivel	Coefficiente	Error standard	P
Constante		180,2	22,5	0.000
cultivo	Alfalfa	0,0	-	-
	Maíz	-49,4	19,8	0.013
Sistema de riego	Cobertura total	0,0	-	-
	Asp. rampa móvil	504	102,1	0.000
RU del suelo (mm)	0 - 25	0,0	-	-
	26 - 100	-53,7	24,2	0.028
	101 - 150	-55,8	23,2	0.017

Los resultados estadísticos indican que los valores del maíz son inferiores a los de la alfalfa en 49 puntos porcentuales. La relación encontrada con los sistemas de riego está explicada únicamente por los sistemas de aspersión con rampa móvil. Sin embargo, en este caso, el valor del error standard es muy grande. Esto es debido al escaso número de parcelas regadas por este tipo de sistema de riego y a la gran variabilidad de los valores del IECR de estas parcelas. La relación encontrada entre la reserva útil del suelo y el IECR se explica de la manera siguiente: las parcelas con una RU moderada (entre 26 mm y 150 mm) tienen un IECR inferior en unos 55 puntos a las parcelas con una RU de baja (de 0 a 25 mm).

Hay que destacar que los coeficientes de determinación obtenidos en los análisis de regresión fueron bajos. Variaron entre 7,7% y 41,7%. Esto fue debido a la dispersión encontrada en los datos. Se puede pensar que una parte de esta dispersión se debe a causas naturales y que otra parte es debida al proceso de obtención de los datos.

- **Análisis del manejo de riego**

La tabla VII presenta los resultados de la simulación de riego de las 11 parcelas y la programación óptima de riego de cada parcela. De las parcelas en las cuales se hizo la simulación del riego aplicado realmente por el agricultor, la de maíz es la única que presentó una reducción de rendimiento nula, con pérdidas de agua poco importantes. En las otras parcelas, la reducción del rendimiento varió entre 9,6% y 16,8%. Las programaciones de riego óptimas calculadas para las 10 parcelas que presentan pérdidas de rendimiento están caracterizadas por tener unas dosis estacionales y un número de riegos superiores a los de la práctica del regante. Esta diferencia entre cantidades de

agua es importante en las parcelas número 1,7,8 y 9 (tabla VIII), lo que indica que estas parcelas estuvieron sometidas a un riego deficitario. Las otras parcelas han presentado una diferencia escasa en el agua aplicada, que ha producido una reducción considerable en las pérdidas por percolación profunda (tabla VII). Esto indica una mala adecuación del riego en el tiempo y con las características del suelo (RU). En todos los casos, la introducción de la programación ha resultado en un aumento del número de riegos (7 en promedio) y una disminución de la dosis de agua aplicada en cada riego.

Tabla VII. Resultados de la simulación y programación óptima del riego durante el año 97

N° parcela	Cultivo	Simulación				Programación	
		Vol .tot (mm)	Num. riegos	Pérdidas (mm)	Reducción Rto. (%)	Vol. (mm)	Num. Riegos
1	Alfalfa	509	18	38,9	16,8	736	23
2	Alfalfa	682	18	128,4	9,9	729	27
3	Alfalfa	713	18	134,5	10,7	729	27
4	Alfalfa	737	20	160,1	9,6	750	25
5	Alfalfa	706	20	136,4	11,5	750	25
6	Alfalfa	723	19	179,9	13,2	750	25
7	Alfalfa	580	15	97,6	12,2	759	23
8	Alfalfa	505	13	61,3	12,7	759	23
9	Trigo	113	2	0,0	16,8	315	7
10	Trigo	302	8	35,4	16,4	350	10
11	Maíz	506	16	58,1	0,0	-	-

Tabla VIII. Cantidad de agua resultante de la diferencia entre la simulación y la programación

N° parcela	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Volumen (mm)	227	47	16	13	44	27	179	254	202	48

El beneficio neto medio de las parcelas de alfalfa regadas mediante una programación de riegos se ha estimado en 23.000 Pta ha⁻¹. La aplicación de una programación de riego adecuada necesita la utilización de una cantidad de agua superior a la de la practica actual del regante: La dosis bruta media aumenta de 644 mm a 745 mm. Los valores de IECR asociados a estas cantidades son de 111% y 96%, respectivamente. Es decir, que una disminución del IECR de 15 puntos es necesaria en las parcelas de alfalfa consideradas para alcanzar un rendimiento optimo.

Conclusiones

El uso de agua de riego en la Loma de Quinto de Ebro ha variado en los distintos años estudiados. En el año 95 el uso global fue mayor que en los otros años estudiados y las cantidades medias aplicadas fueron superiores a las necesidades hídricas de los cultivos. Los factores que determinaron el uso del agua de riego fueron el cultivo, el sistema de riego y la superficie de la parcela. Los valores de IECR tuvieron unas tendencias interanuales que no se explican con la aridez de los años del estudio. Los agricultores sometieron a los cultivos a un nivel de estrés variable en el tiempo. Este nivel de estrés fue considerable durante 1989 y 1997. Sin embargo, los criterios de decisión de la cantidad de agua de riego aplicada son mucho más semejantes entre 1995 y 1997. La consolidación de las prácticas de riego en la Loma ha sido bien ilustrada por

el modelo de regresión del uso del agua. En el modelo, el número de variables independientes significativas ha aumentado con el tiempo. De hecho, el cultivo, el sistema de riego y la reserva de agua útil han resultado ser variables decisivas hacia el final del periodo estudiado.

La simulación del riego en un pequeño número de parcelas ha detectado una reducción media del rendimiento por estrés hídrico del 13%. El estrés ha sido causado por un déficit de riego y por un gran intervalo entre riegos. Frecuentemente, el agua aplicada en cada riego ha sido superior a la reserva fácilmente utilizable, implicando así pérdidas de agua por percolación profunda. Para las parcelas de alfalfa, la aplicación de una programación de riego necesita un aumento del número de riegos y una disminución de la dosis de agua aplicada en cada riego. Eso permitiría al agricultor alcanzar rendimientos máximos y obtener un aumento del beneficio medio de 23.000 Pta ha⁻¹. Como consecuencia directa, resulta muy importante introducir la automatización del riego en la Loma de Quinto de Ebro para poder aplicar la programación de riegos y mejorar así la eficiencia del riego y el margen bruto de las explotaciones.

Agradecimientos

Agradecemos su colaboración a la Comunidad de Regantes de la Loma de Quinto de Ebro y al IAMZ por la concesión de una beca a F. Dechmi.

Referencias

- Artieda O., 1998: Mapa provisional de suelos del nuevo regadío de Quinto (Zaragoza). Escala 1:50.000. Departamento de Suelos y Riegos SIA-DGA.
- Bensaci A., 1996: Problemática actual y mejora del manejo del riego en la comunidad de regantes de Almudévar (Huesca). Tesis de MSc, IAMZ (Centro Internacional de Altos Estudios Agronómicos Mediterráneos). 163 pg.
- Casterad Seral M. A., 1990: Utilización de datos de satélite para el aforo de superficies de cultivos en el centro del valle del Ebro. Trabajo de fin de carrera. E.T.S.I.A.130 pg.
- Dechmi F.; Playán E.; Faci J.M., 1998: Evaluación del manejo del riego por aspersión en la Loma de Quinto de Ebro. XVI Congreso Nacional de riegos. AERYD Palma de Mallorca 2-4 junio. pg 333-341.
- 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 pg.
- Doorendos J. and Pruitt W. O., 1977: Crop water requirements, Food and Agriculture Organisation of the United Nations, Irrigation and drainage Paper n°. 24, Revised, Roma, Italia, 194 Pg.
- Gobierno de Aragón, 1998: Política Agraria Común, datos informáticos de los cultivos del municipio de Quinto de Ebro desde el año 1994 hasta 1997.
- Slatni A., 1996: Elaboration et évaluation des alternatives pour l'amélioration de l'utilisation de l'eau au sein de la Communauté d'irriguants d'Almudévar. Tesis de MSc, IAMZ (Centro Internacional de Altos Estudios Agronómicos Mediterráneos). 132 pg.
- Smith M, 1993: CROPWAT. Programa de ordenador para planificar y manejar el riego. Estudio FAO riego y drenaje n° 46. 133 pg.