

FORMULARIO DE PRESENTACIÓN DE TRABAJOS^(1y 2)

TÍTULO DEL TRABAJO: Recibido 14-2-2014 Aceptado 26-2-2014

BALANCE DE AGUA, DESEMPEÑO DEL RIEGO Y COMPORTAMIENTO HIDROLÓGICO DE UNA PEQUEÑA CUENCA AGRÍCOLA

SUGERIDO POR LOS AUTOR/ES:

SUGERIDO POR EL COMITÉ TÉCNICO:

GRUPO DE TEMAS: A-22

PRESENTACIÓN: ORAL

GRUPO DE TEMAS: A

PRESENTACIÓN: ORAL
PANEL

Si ___ desearía que este Trabajo sea publicado en el "Spanish Journal of Agric. Research" (SJAR). De ser seleccionado me comprometo formalmente a aceptar las condiciones que indique la Editorial. Ver en "Destacados" en www.congresorriegos-aeryd.org.

Nombre Autor Principal (de referencia): António Canatário Duarte

Organismo: Escuela Superior Agrária/Instituto Politécnico de Castelo Branco

Dirección: Escola Superior Agrária, Apartado 119

CódigoPostal: 6001-909

Población: Castelo Branco (PORTUGAL)

Tlf: 00351 272339963

Fax: 00351 272339901

Email: acduarte@ipcb.pt

REVISIÓN DEL COMITÉ CIENTÍFICO: OBSERVACIONES A LA SINOPSIS.

Aspectos formales:

Falta el cargo o dedicación de los autores y una línea entre la afiliación y el punto 1.

Pese a que se entiende perfectamente, dado que los autores son portugueses, les he introducidos pequeñas correcciones idiomáticas por lo que adjunto el fichero para la consideración por parte de los mismos.

En la definición de los indicadores faltan los acrónimos que posteriormente se emplean en el apartado 3 y 4 (se los he incluido en el trabajo)

En el apartado 2, último párrafo, el desempeño del riego evalúa para varias campañas. Sería conveniente eliminar la ambigüedad en este punto indicando que son 5. Se indica posteriormente en el trabajo.

Aspectos de Contenido:

La terminología "Desempeño de riego", es utilizada fundamentalmente en Latinoamérica. Se emplea en el título y a lo largo del trabajo pero en castellano suena ambiguo y sería conveniente utilizar otra expresión. ¿Quizás mejor traducir por "eficiencia" del riego, en el sentido de "performance"?

Recomendaciones para autor/es:

De acuerdo con Heerman and Solomon (2007) los conceptos de eficiencia y uniformidad de riego son a menudo mal interpretados y conducen a confusión. La eficiencia puede ser medida en una infinidad de formas. Puesto que en los indicadores de riego se emplea, recomendaría a los autores que en el trabajo aparezca claramente la forma en como es medida por ellos.

¹ Imprescindible enviar este **Formulario junto con la Sinopsis del Trabajo** a la Secretaría del Congreso a la dirección electrónica: [aeryd arroba aeryd.es](mailto:aeryd@aroba.aeryd.es), **antes del 7 de febrero de 2014**, para su revisión por el Comité Científico. Al autor de referencia se le comunicará la recepción de su envío, y una vez revisado, la aceptación del Trabajo y los comentarios de los Revisores, si los hubiese. Para cualquier aclaración, pueden ponerse en contacto con la Secretaría del Congreso: c/ General Arrando, 38, 28010 Madrid, Tlf. y Fax: 915332253

² El envío de este Trabajo supone la implícita aceptación por parte del autor de las Normas de Presentación establecidas para este Congreso.

BALANCE DE AGUA, DESEMPEÑO DEL RIEGO Y COMPORTAMIENTO HIDROLÓGICO DE UNA PEQUEÑA CUENCA AGRÍCOLA

Canário Duarte, A.^{1,2}, Mateos, L.³, Fereres, E.^{3,4}

¹ CEER, Centro de Engenharia dos Biosistemas, Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa

² ESA, Instituto Politécnico de Castelo Branco, Quinta da Sra. de Mércules, Apartado 119, 6001-909 Castelo Branco, acduarte@esa.ipcb.pt

³ Instituto de Agricultura Sostenible, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Alameda del Obispo s/n, 14004 Córdoba, España, ag1mainl@uco.es

⁴ ETSIAM, Universidad de Córdoba, Campus de Rabanales Ctra. Madrid, km 396, 14071 Córdoba, España, ag1fecae@uco.es

1 - Introducción y Objetivos

El régimen hidrológico propio de los climas mediterráneos se refleja en la necesidad de elevados volúmenes de agua de riego y también en la dificultad del control de la escorrentía y percolación del agua, sobre todo en las áreas donde son frecuentes lluvias intensas. Además, la agricultura de riego, cuando practicada de forma técnicamente desajustada, afecta a la vez el suelo y los recursos hídricos, y puede, a largo plazo, comprometer la sustentabilidad de los sistemas productivos (Wichelns y Oster, 2006; EU, 1998). Varios estudios han abordado ya el desempeño del riego al nivel de parcela, de grupos de parcelas o de comunidad de regantes (Lorite *et al.*, 2004; Lozano y Mateos, 2008). Sin embargo, cuando se pretende introducir también las cuestiones ambientales relacionadas con el riego, la cuenca hidrográfica parece ser la unidad territorial más adecuada para el análisis (Mateos *et al.*, 2002; Causapé *et al.*, 2004).

El objetivo principal de este estudio es hacer el balance de agua y evaluar el desempeño del riego bajo condiciones mediterráneas a la escala de una pequeña cuenca, así como el estudio de la respuesta hidrológica a las variaciones de la precipitación anual y del área de riego en cada campaña.

2 - Materiales y Métodos

La cuenca de estudio se localiza en la Comunidad de Regantes de la Campiña de Idanha. Tiene un área de 189 ha. Se encuentra dividida en cuatro unidades agrícolas (fincas) y en 18 parcelas (Figura 1). El sistema de riego usado es predominantemente pivot (parcelas 1, 3, 11, 12 y 15). Las parcelas 4, 7, 9, 10, 13, 16 y 18 son dedicadas a pasto o cultivos de secano, sobretodo avena. La cuenca incluye una plantación joven de encinas y alcornoques. Los suelos son, de acuerdo con la clasificación de la FAO (FAO, 1998), predominantemente Cambisols y Luvisols (Duarte, 2006).

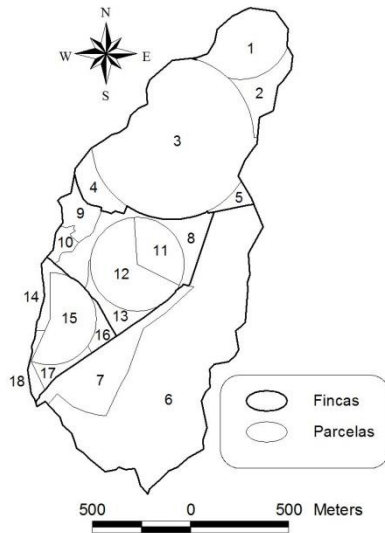


Figura 1 – Limite de la cuenca de estudio, de las fincas, y de las parcelas (1,2, ..., 18 son la identificación de las parcelas).

Para este estudio fue instalado en 2004 una estación hidrológica en la sección de salida de la cuenca (39°50'48" N, 7°10'00" W), que consiste en un aforador de sección compuesta (triangular y trapezoidal) (Bos *et al.*, 1991) para medir la escorrentía equipado con un sensor de ultra-sonidos dirigido a la superficie de la corriente que registra continuamente el nivel del agua (Figura 2).



Figura 2 – Estación hidrológica instalada en la sección de referencia de la cuenca de estudio.

El balance de agua fue calculado diariamente para la zona radicular de las plantas, en cada parcela de la cuenca de estudio, a través de la siguiente expresión:

$$RZWD_i = RZWD_{i-1} - R_i - I_i + ET_i + (RO_i + D_i)$$

donde $RZWD_i$ e $RZWD_{i-1}$ (mm) son, respectivamente, el déficit de agua en el suelo en la zona radicular en el día i e $i-1$; R_i , I_i , ET_i , RO_i y D_i (todos en mm), son, respectivamente, precipitación, riego, evapotranspiración, escorrentía y drenaje en el día i . Se asume que el suelo en la zona radicular está a la máxima capacidad de almacenamiento ($RZWD=0$) cuando el contenido de humedad en el suelo se

encuentra en la capacidad de campo, y que el suelo está en la mínima capacidad de almacenamiento cuando el contenido de humedad se encuentra en el punto de marchitez permanente.

El desempeño del riego se evaluó para varias campañas usando los siguientes indicadores (Molden y Gates, 1990):

- Coeficiente de Déficit (Deficit Coefficient): $DC = 1 - \frac{ET_{actual}}{ET_{potential}}$

- Suministro Relativo de Agua (Relative Water Supply): $RWS = \frac{R + I}{ET_{potential}}$

- Suministro Relativo de Riego (Relative Irrigation Supply): $RIS = \frac{I}{I_{required}}$

- Coeficiente de Escorrentía (Runoff Coefficient): $ROC = \frac{RO}{R}$

- Eficiencia de Riego (Irrigation Efficiency): $IE = \frac{ET_I}{I}$

En este contexto IE es definida como el ratio del agua usada de forma beneficiosa, entendida como el agua de riego que fue evapotranspirada (ET_I), y el agua de riego aplicada. El volumen de agua de riego evapotranspirada es calculada como la diferencia entre la ET_{actual} y la lluvia ocurrida durante el periodo de tiempo de análisis ($ET_I = ET_{actual} - R$).

3 - Resultados y Discusión

Los datos de las tablas 1 y 2 revelan claramente la variabilidad del clima mediterráneo en lo que respecta a la precipitación y a su distribución temporal. No obstante, cuanto mayor es el volumen de precipitación más elevado es el valor anual del ROC, aunque la relación no es lineal (1005 mm, ROC 0.25; 565 mm, ROC 0.19; 413 mm, ROC 0.15; e 325 mm, ROC 0.11). La excepción tiene lugar en la estación de lluvia de 2004/2005, en la que, aunque la precipitación fue baja (277 mm), el ROC fue bastante más elevado (0.36) que los valores de otras estaciones. Esta situación se debió a la gran irregularidad de la distribución de la precipitación, que se repartió en pocos eventos pero con grand capacidad de generar escorrentía, y de transporte de contaminantes afuera de la cuenca (Tomer y Keith, 2009).

Tabla 1 – Variables del balance de agua para los períodos en análisis en la cuenca de estudio

	RIEGO I	LLUVIA I	RIEGO II	LLUVIA II	RIEGO III	LLUVIA III	RIEGO IV	LLUVIA IV	RIEGO V	LLUVIA V
	(01/06/04	(16/09/04	(01/06/05	(16/09/05	(16/06/06	(16/09/06	(16/06/07	(16/09/07	(01/06/08	(16/09/08
	15/09/04)	31/05/05)	15/09/05)	15/06/06)	15/09/06)	15/06/07)	15/09/07)	31/05/08)	15/09/08)	31/05/09)
Lluvia (mm)	12,9	276,8	16,4	565,2	17,1	1005,0	24,8	412,7	13,5	325,0
Riego (mm)	332,6	24,9	101,8	26,4	72,6	16,1	31,4	8,9	271,5	7,5
Escorrentía (mm)	32,1	107,4	5,5	111,0	1,0	250,8	0,0	61,8	24,8	35,7
ETpotencial (mm)	342,3	339,4	187,6	333,5	128,8	313,5	57,2	289,4	285,4	242,8
ETactual (mm)	246,8	177,4	107,2	268,3	80,9	268,9	38,7	226,2	206,9	145,4
Riego req (mm)	299,9	52,9	155,1	55,4	116,5	26,1	52,2	46,6	264,2	3,0
Déficit (inicio) (mm)	29,6	19,2	23,3	26,7	21,0	27,0	4,3	9,1	17,6	21,5
Déficit (final) (mm)	18,3	24,2	26,8	20,4	25,9	0,0	15,2	16,8	20,9	29,2
Var. del déficit	-11,3	5,1	3,5	-6,2	5,0	-27,0	10,9	7,8	3,3	7,7
Drenaje (mm)	55,3	22,0	9,0	206,1	12,8	474,4	28,4	141,4	56,6	159,1

Tabla 2 – Indicadores de uso del agua y de comportamiento hidrológico para los períodos en análisis en la cuenca de estudio.

	RIEGO I	LLUVIA I	RIEGO II	LLUVIA II	RIEGO III	LLUVIA III	RIEGO IV	LLUVIA IV	RIEGO V	LLUVIA V
	(01/06/04	(16/09/04	(01/06/05	(16/09/05	(16/06/06	(16/09/06	(16/06/07	(16/09/07	(01/06/08	(16/09/08
	15/09/04)	31/05/05)	15/09/05)	15/06/06)	15/09/06)	15/06/07)	15/09/07)	31/05/08)	15/09/08)	31/05/09)
ROC	0,09	0,36	0,05	0,19	0,01	0,25	0,00	0,15	0,09	0,11
DC	0,28	0,48	0,43	0,20	0,37	0,14	0,32	0,22	0,28	0,40
RWS	1,01	0,89	0,63	1,77	0,70	3,26	0,98	1,46	1,00	1,37
RIS	1,11	.....	0,66	.....	0,62	.....	0,60	.....	1,03	.....
IE	0,70	.....	0,89	.....	0,88	.....	0,44	.....	0,71	.....

La reducción del área de riego, con la consecuente reducción del volumen de agua de riego, determina una disminución de la escorrentía afuera de la cuenca, pero con una relación que no es lineal. Tomando como referencia el volumen de agua de riego de la campaña 2004, tenemos que en 2005 ha habido una reducción de agua de riego de 65.8% y una disminución de la escorrentía del 82.7%; las mismas reducciones para otras campañas de riego son, respectivamente: 2006, 71% y 96.9%; 2007, 83.7% y 100%; 2008, 17.5% y 22.7%. Se constata también en la Tabla 2 que cuanto mayor es el volumen de agua de riego menor es la eficiencia de riego (IE) (García-Garizábal y Causapé, 2010).

Los valores más elevados del indicador RIS tuvieron lugar en las campañas de riego en las cuales el agricultor de las parcelas 1, 2, 3 y 5 riega. Este agricultor aplica dotaciones de riego superiores a las requeridas por los cultivos, por ser habitual en sus prácticas y por no tener restricciones de agua. Como algunas de estas parcelas cubren áreas relativamente grandes, determinan el RIS en toda la cuenca. El indicador RWS presenta, comprensiblemente, valores más elevados cuando el valor de la

precipitación también es más elevado, ya que la ocupación de la cuenca en la estación de lluvias es casi siempre la misma, o sea cereales de invierno (sobre todo avena). Incluso en los años más secos (2004/2005 y 2008/2009) este indicador es mayor que uno; si el uso de la cuenca fuera más intensivo en estos años, los valores del indicador serían con certeza menores (Perry *et al.*, 2009).

En la Figura 3 están registrados los valores medios mensuales (de cinco años) de lluvia, riego y escorrentía, y el valor del indicador ROC. Se nota que la evolución de los valores de este indicador a largo del año presenta dos pirámides referentes a cada una de las estaciones en estudio (riego y lluvia), desplazadas con respecto al mes en que ocurren las entradas más elevadas de agua en la cuenca. Esta situación, más evidente en la estación de lluvias, se explica porque en el inicio de la misma el agua que entra en la cuenca contribuye sobre todo al aumento del contenido de humedad en el suelo. Más tarde, la escorrentía superficial y sub-superficial en la cuenca están más favorecidas, traduciéndose en valores mayores del indicador ROC.

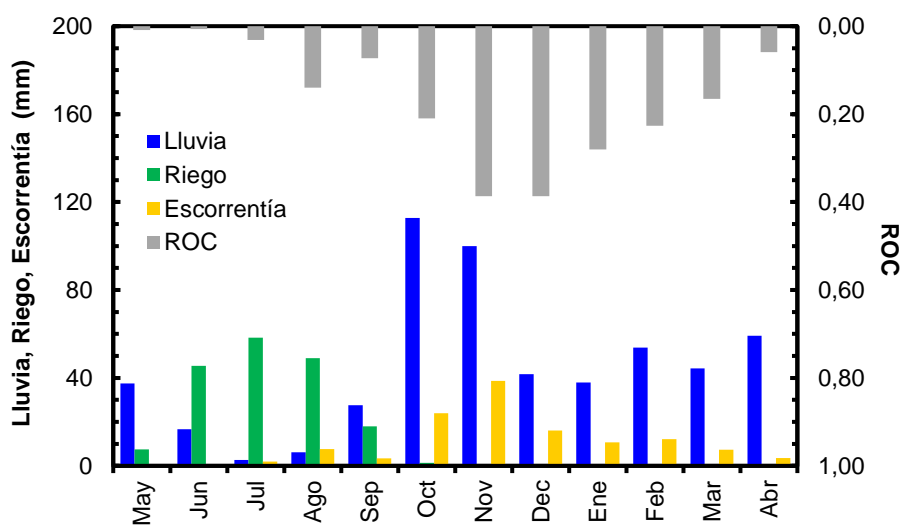


Figura 3 – Lluvia, riego e escorrentía medios mensuales entre 2004/05 e 2008/09, y respectivos coeficientes de escorrentía.

4 - Conclusiones y Recomendaciones

El desarrollo de este estudio permite llegar a algunas conclusiones que relacionamos a continuación.

- Sustentado por los resultados de cinco estaciones de lluvias y cinco campañas de riego, la mayoría de los años hidrológicos, cuanto mayor es el volumen de precipitación más elevado es el valor del indicador ROC, no variando, sin embargo, de forma lineal. Exceptúanse algunos años más secos, en los que aunque la precipitación es relativamente baja, se concentra en pocas tormentas con grande capacidad de generar escorrentía.

- La disminución del área de riego en la cuenca se corresponde con una disminución porcentual de la escorrentía generada mayor que la disminución porcentual del volumen de agua de riego.

- De una forma global, y cuando en la campaña de riego no ocurre precipitación elevada, constatamos que cuanto mayor es el volumen de agua de riego menor es la eficiencia de riego.

- En el inicio de las estaciones, más evidente en las estaciones de lluvia, el agua que entra en la cuenca promueve, en detrimento de la escorrentía, el aumento del contenido de humedad del suelo. Solo más tarde, ya con el contenido de humedad del suelo situado a valores más elevados, se ve ampliamente favorecida la escorrentía superficial.

Bibliografía

- Bos, M.G., Replogue, J.A., Clemmens, A.J. 1991. *Flow measuring flumes for open channel systems*. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI.
- Causapé, J., Quílez, D., Aragués, R. 2004. Assessment of irrigation and environmental quality at the hydrological basin level I. Irrigation quality. *Agricultural Water Management* 70 (2004) 195-209.
- Duarte, A.C. 2006. *Contaminación difusa originada por la actividad agrícola de riego, a la escala de la cuenca hidrográfica*. Tesis Doctoral, Universidade de Córdoba, España
- EU: European Union, 1998. *Council directive 98/83/CE of 3 November 1998 imposed to the surface waters devoted to the production of water for human consumption*. Official Journal L 330 (5/12/1998), 32–54.
- FAO. 1998. World Reference Base for Soil Resources. *FAO World Soil Resources Report 84*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- García-Garizábal, I., Causapé, J. 2010. Influence of irrigation water management on the quantity and quality of irrigation return flows. *Journal of Hydrology* 385 (2010) 36–43.
- Lorite, I.J., Mateos, L., Fereres, E. 2004. Evaluating irrigation performance in a Mediterranean environment. II. Variability among crops and farmers. *Irrigation Science* (2004) 23: 85-92.
- Lozano, D., Mateos, L. 2008. Usefulness and limitations of decision support systems for improving irrigation scheme management. *Agricultural Water Management*, 95(4), 409-418.
- Mateos, L., López-Cortijo, I., Sagardoy, J.A. 2002. SIMIS: the FAO decision support system for irrigation scheme management. *Agricultural Water Management* 56 (2002) 193-206.
- Molden, D.J., Gates, T.K. Performance Measures for Evaluation of Irrigation Water Delivery Systems. *ASCE Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, Vol. 116, No 6, 1990.
- Perry, C., Steduto, P., Allen, R.G. Burt, C.M. 2009. Increasing productivity in irrigated agriculture: Agronomic constraints and hydrological realities. *Agricultural Water Management* 96 (2009) 1517–1524.
- Tomer, M.D., Keith, E.S. 2009. A simple approach to distinguish land-use and climate-change effects on watershed hydrology. *Journal of Hydrology* 376 (2009) 24–33.
- Wichelns, D., Oster, J.D. 2006. Sustainable irrigation is necessary and achievable, but direct costs and environmental impacts can be substantial. *Agricultural Water Management* 86 (2006) 114-127.