



LAS EVALUACIONES DEL IEGO DE SUPERFICIE

UNA NECESIDAD PARA LA MEJORA
DEL USO DEL AGUA EN EL REGADÍO

La realización de evaluaciones del riego en parcela permite obtener una información muy valiosa para la mejora del manejo del agua de riego en nuestros regadíos.



José María Faci González y Enrique Playán Jubillar
Unidad de Suelos y Riegos (SIA) - Laboratorio de Agronomía y
Medio Ambiente (Centro mixto DGA-CSIC)

La medida de la infiltración de agua en el suelo es fundamental para evaluar la idoneidad del riego de superficie.

El riego de superficie es una de las prácticas agrícolas más antiguas que se conocen. El riego de superficie fue la base del desarrollo de antiguas civilizaciones en zonas áridas y semiáridas, como en el valle del Nilo en Egipto, en los

años 6.000 a. C.; en los valles del Tigris y Eufrates en Mesopotamia, en los años 4.000 a. C.; en el río Amarillo en China en los años 3.000 a. C. y en el valle del Indo en la India en los años 2.500 a. C. En América del Sur, las civilizaciones

incas y mayas desarrollaron sistemas de riego hace más de 2.000 años (Hoffman *et al.*, 1990).

Los regadíos más antiguos de riego de superficie se desarrollaron en las terrazas adyacentes a los ríos mediante la construcción de presas y canales para derivar el agua a los campos. Las parcelas eran normalmente de tamaño pequeño y el caudal muy limitado.

En la actualidad, el riego de superficie sigue siendo el sistema más extendido en todos los regadíos del mundo. Así, Walker (1989) indica que más del 95% de los regadíos del mundo emplean métodos de riego de superficie.

Los cambios más importantes introducidos en nuestros actuales sistemas de riego de superficie incluyen el revestimiento de los canales y acequias de riego, el empleo de mayores caudales de riego, el aumento del tamaño de las parcelas de riego para facilitar la mecanización y la introducción de la nivelación con rayo láser.

La mayoría de los sistemas de riego de superficie utilizados en España no están siendo manejados de manera óptima. En muchas ocasiones las acequias no son capaces de llevar los caudales que serían necesarios para un riego eficiente. En otros casos las parcelas no están uniformemente niveladas. Existen también zonas de regadíos con turnos fijos de riego demasiado frecuentes o demasiado espaciados en el tiempo. Estos problemas se traducen en una serie de perjuicios, como el aumento del agua utilizada en el riego, el aumento de la mano de obra, el descenso en la producción de cultivos, el lavado de los fertilizantes y el deterioro de la calidad de los retornos de riego.

Generalmente, la causa principal de las bajas eficiencias de riego suele ser el riego excesivo, que produce pérdidas de agua por escorrentía superficial y percolación profunda. La escorrentía superficial suele ocurrir en surcos y riego de tablares con pendiente y abiertos en la zona más baja. La percolación profunda es más corriente en riego por inundación y tablares cerrados, especialmente en suelos con elevadas tasas de infiltración.

Una evaluación del riego permite conocer la situación actual de la práctica del riego y determinar los cambios necesarios para introducir mejoras del manejo del riego con sus consiguientes ventajas económicas. Estas mejoras tienen como fin conseguir un riego más adecuado y uniforme, y se traducen en un ahorro de agua y mano de obra y en una mejora de los rendimientos de los cultivos.

En muchos casos las modificaciones necesarias son muy simples y no requieren fuertes inversiones de capital. En otros casos, la evaluación del riego puede indicar la existencia de problemas de difícil solución debidos a un diseño del riego inadecuado, cuya mejoría requeriría un cambio costoso de las instalaciones de infraestructura existentes.

QUÉ ES UNA EVALUACIÓN DEL RIEGO DE SUPERFICIE

Una evaluación del riego de superficie consiste en la realización de un conjunto de medidas y observaciones durante el proceso de riego de una parcela.

Las medidas incluidas en la evaluación son las siguientes:

1. Caudal de entrada a la parcela y su evolución durante el tiempo de riego.
2. Curvas de avance y recesión del agua en la superficie de la parcela.

3. Volumen de escorrentía del agua de riego cuando no hay caballón en la parte más baja de la parcela.
4. Contenido de agua en el suelo en el momento anterior al riego.
5. Tiempo de riego y dosis aplicada a la parcela.
6. Características de la tasa de infiltración del suelo.
7. Características de la parcela, dimensiones, estado de nivelación, etc.

OBJETIVOS DE LA EVALUACIÓN DEL RIEGO DE SUPERFICIE

Los principales objetivos que se persiguen en una evaluación del riego de superficie son los siguientes:

1. Mejorar el conocimiento de la práctica actual del riego.
2. Determinar la eficiencia y uniformidad del sistema de riego tal como es utilizado en la actualidad.
3. Determinar los cambios que habría que efectuar en el manejo del riego para mejorar su eficiencia y uniformidad.
4. Obtener información para el diseño adecuado del riego de superficie en las condiciones de la zona estudiada.

PROCEDIMIENTO DE CAMPO PARA LA REALIZACIÓN DE LA EVALUACIÓN DEL RIEGO

A continuación se describen de forma esquemática las distintas etapas para realizar la evaluación:

1. Elegir una parcela representativa de la zona regable bajo estudio.
2. Dibujar el croquis con las dimensiones y forma de la parcela donde se va a realizar la evaluación.
3. Realizar un levantamiento topográfico de la parcela para conocer su estado de nivelación.
4. Instalar la siguiente instrumentación en la parcela:
 - a) Medidor de caudal en la acequia de suministro o en la tajadera de entrada de agua a la parcela.
 - b) Línea de estacas a distancias iguales en el sentido longitudinal del campo para medir los tiempos en que el frente de agua alcanza cada una de las estaciones (curva de avance) y los tiempos en que el agua desaparece de las mismas (curva de recesión).
 - c) Anillos infiltrómetros para medir la tasa de infiltración de agua en el suelo. Es recomendable un mínimo de tres anillos infiltrómetros.
5. Tomar muestras de suelo antes de efectuar el riego. La humedad del suelo en el momento de la evaluación debe ser similar a la que tendría al efectuar los riegos normales en la finca.
6. Comenzar el riego anotando los tiempos de apertura y cierre de la tajadera y midiendo el caudal de entrada a la parcela a intervalos frecuentes.
7. Medir la altura del agua junto a la entrada de agua a la parcela.
8. Medir los tiempos en que el frente de agua alcanza las distintas estaciones de la parcela (tiempo de avance). Un mínimo de 8 estaciones es recomendable. Un frente de avance desigual indica mala nivelación de la parcela. El establecimiento de una cuadrícula de estacas en parcelas de forma irregular o cuadradas puede ayudar a determinar los tiempos de avance.



Medidor de caudal
instalado
en la entrada de agua
a una parcela de riego.

9. Medir los tiempos en que el agua desaparece de la superficie del suelo en las distintas estaciones de la parcela (tiempo de receso). La diferencia entre el tiempo de receso y el tiempo de avance es el tiempo en el que el agua se encuentra en contacto con la superficie del suelo y tiene la oportunidad de infiltrar (tiempo de contacto).
En parcelas de riego de inundación con pendiente cero, el tiempo de receso es prácticamente el mismo en todos los puntos de la parcela. Sin embargo, en parcelas con pendiente el tiempo de receso varía a lo largo de la parcela.
10. Medir la tasa de infiltración de agua en el suelo en los anillos infiltrómetros instalados. La infiltración se determina añadiendo un volumen de agua al anillo infiltrómetro y midiendo la variación de la altura de agua en el interior del anillo con el tiempo. Una vez obtenida la curva media de infiltración, ésta debe ser ajustada con los datos del volumen total aplicado en el riego, considerando toda la parcela como un anillo infiltrómetro.
11. Análisis de los datos y determinación de la uniformidad y eficiencia del riego.

MATERIAL NECESARIO PARA LA EVALUACIÓN DEL RIEGO DE SUPERFICIE

El material necesario para la realización de una evaluación incluye lo siguiente:

1. Tubo toma-muestras de suelo y recipientes para la medida de la humedad del suelo antes y después de efectuar el riego.
2. Medidor de caudal para la medida del volumen aplicado en riego.
3. Estacas para establecimiento de cuadrícula o línea de estaciones.
4. Un nivel de precisión para el conocimiento del estado de nivelación de la parcela.
5. Cinta métrica de 25 m.
6. Reloj o cronómetro para el control de tiempos. Son de gran utilidad los relojes con electrodos para la medida de los tiempos de avance y recesión.
7. Cilindros infiltrómetros provistos con escalímetro y gancho metálico para la medida de la tasa de infil-

tración del suelo. También hace falta un martillo muy pesado para clavar los anillos infiltrómetros en el suelo.

8. Reglas para la medida de la altura de la lámina de agua.

PARÁMETROS INDICADORES DE LA IDONEIDAD DEL RIEGO EN LAS EVALUACIONES

La terminología utilizada para describir el comportamiento del riego incluye frecuentemente los términos «eficiencia» y «uniformidad», que son utilizados con mucha ambigüedad y con distintos significados por distintos autores. No existe ningún parámetro que por sí solo sea suficiente para describir el comportamiento del riego.

Conceptualmente, la idoneidad de un riego depende de:

- Cantidad de agua que queda almacenada en la zona radicular del cultivo.
- Perdidas por percolación.
- Pérdidas por escorrentía superficial.
- Uniformidad del agua aplicada.
- Déficit de humedad en el suelo después del riego.

A continuación se definen los parámetros de «uniformidad» y «eficiencia» más comúnmente utilizados en las evaluaciones del riego de superficie (Merriam *et al.*, 1980; Walker, 1989; Heermann *et al.*, 1990).

Uniformidad de distribución (UD)

La uniformidad de distribución (UD) es un indicador de los problemas de distribución del agua de riego. Indica la uniformidad de la altura de agua infiltrada a lo largo y ancho de la parcela y se expresa:

$$UD = \frac{\text{Altura media de agua infiltrada en el 25\% del área menos regada}}{\text{Altura media del agua infiltrada en la parcela}} \times 100$$

La altura media de agua infiltrada en el 25% del área menos regada se calcula como la media del 25% de los valores más bajos de altura de agua infiltrada (ya sean medidos o estimados), donde cada valor corresponde a una misma superficie.

Coefficiente de uniformidad (CU)

El coeficiente de uniformidad de Christiansen (CU) es un parámetro estadístico ampliamente utilizado para describir la uniformidad de distribución del agua en los sistemas de riego (Christiansen, 1942). Normalmente, el CU es utilizado en sistemas de aspersión y goteo, pero puede utilizarse también en riego de superficie.

Se expresa en porcentaje, mediante la expresión siguiente:

$$CU = \left(1 - \frac{\sum |d|}{M \times n} \right) \times 100 = \left(\frac{M - \frac{\sum |d|}{n}}{M} \right) \times 100$$

donde:

$\sum |d|$ = Suma de los valores absolutos de las desviaciones respecto a la media.

M = Valor medio del agua recogida en todos los pluviómetros o puntos de control.

n = Número total de pluviómetros o puntos de control.

Eficiencia de aplicación (Ea)

La eficiencia de aplicación del riego (**Ea**) se define como:

$$Ea = \frac{\text{Volumen de agua añadido a la zona radicular}}{\text{Volumen de agua aplicado en la parcela}} \times 100$$

Durante el riego se pierde agua por percolación profunda y por escorrentía superficial. El aumento de estas pérdidas de agua supone una disminución de la eficiencia de aplicación del riego.

Porcentaje de percolación profunda (PPP)

La pérdida de agua de drenaje por debajo de la zona radicular se refleja como el porcentaje de percolación profunda, que se expresa:

$$PPP = \frac{\text{Volumen de percolación profunda}}{\text{Volumen de agua aplicado a la parcela}} \times 100$$

Altos valores de la percolación profunda pueden producir problemas de asfixia radicular, ascensos potenciales de los niveles freáticos, salinización del suelo y lavado de nutrientes fuera de la zona radicular del cultivo. Asimismo, las aguas de percolación profunda provenientes del riego pueden producir una movilización de las sales del suelo y consiguientes problemas de calidad de agua en los cauces receptores.

Porcentaje de escorrentía superficial (PES)

Las pérdidas por escorrentía al final de la parcela en el riego por gravedad se expresan como el porcentaje de escorrentía superficial (PES):

El **PES** se expresa:

$$PES = \frac{\text{Volumen de escorrentía}}{\text{Volumen de agua aplicado a la parcela}} \times 100$$

La escorrentía superficial puede provocar erosión en las parcelas de riego y pérdida de agroquímicos.

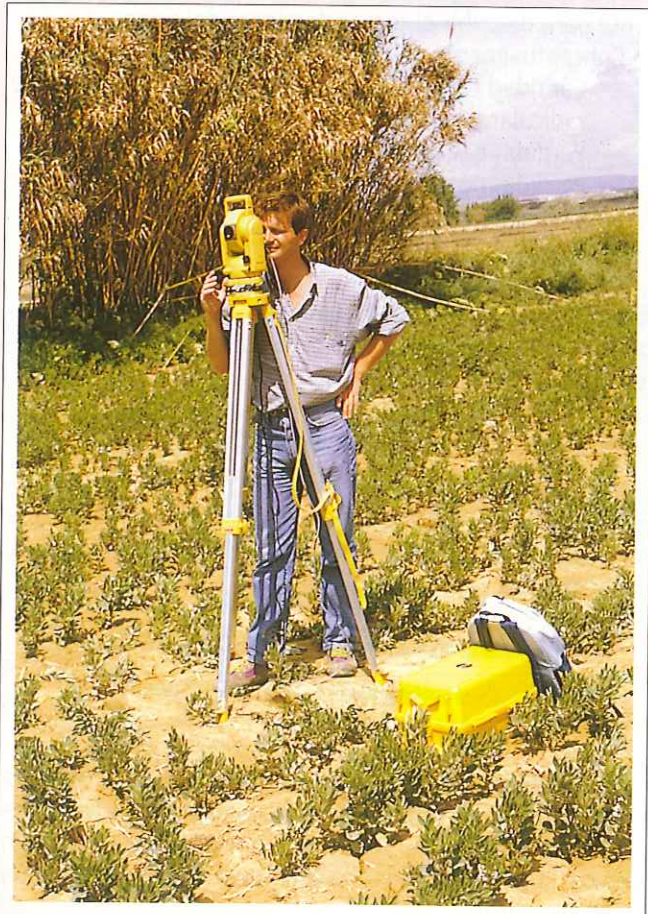
RESULTADOS DE EVALUACIONES REALIZADAS EN PARCELAS DE RIEGO DE SUPERFICIE

A título indicativo se presentan algunos resultados de distintas evaluaciones de riego de superficie realizadas por la **Unidad de Suelos y Riegos del Servicio de Investigación Agraria** en los últimos años.

Las Figuras 1, 2 y 3 presentan un resumen de tres evaluaciones (evaluaciones 1, 2 y 3) realizadas en tres parcelas de la finca «La Granja» de Almodóvar, pertenecientes al Sindicato de Riegos de Almodóvar (Huesca).

La evaluación 1 (Figura 1) corresponde al primer riego efectuado en un cultivo de maíz después de la siembra en una parcela de 0,30 ha de superficie, con una buena nivelación con pendiente 0%. La Figura 1 presenta las curvas de avance y recesión de este riego, en la cual se observa una recesión de tipo horizontal típica del riego por inundación

El conocimiento del estado de nivelación de la parcela es un requisito necesario para una buena evaluación de riego de superficie.



(pendiente 0%). Asimismo, los tiempos de contacto (diferencia entre los tiempos de receso y tiempos de avance) son relativamente homogéneos a lo largo de la parcela. El caudal de riego utilizado fue de 41 l/s, y la dosis de riego aplicada fue de 650 m³/ha.

El tipo de riego de la evaluación 1 se denomina riego por inundación, y se caracteriza porque la parcela está completamente nivelada a pendiente cero y rodeada de caballones en todo su perímetro. La gran extensión de la nivelación láser está popularizando este tipo de riego ya que, si la parcela está bien nivelada y el caudal de riego es elevado, se pueden conseguir elevadas uniformidades y eficiencias.

Las evaluaciones 2 y 3 (Figuras 2 y 3) corresponden a dos parcelas con riego por escurrimiento, con caballones en todo el perímetro de la parcela para evitar pérdidas por escorrentía y con pendientes longitudinales de 0,17% y 0,05% respectivamente. En la Figura 2 se trata de una parcela de 0,57 ha con un cultivo de alfalfa recién cortada y en la Figura 3 de una parcela de 0,40 ha de barbecho. Del estudio de las curvas de receso se observa que en ambas evaluaciones hubo una acumulación de agua en la parte más baja de la parcela, lo cual originó diferencias importantes en los tiempos de contacto a lo largo de las parcelas. Asimismo, es de destacar la mayor dosis de riego aplicada en la parcela de barbecho (1.190 m³/ha) que en la parcela de alfalfa (810 m³/ha), debido a la mayor rugosidad del suelo y mayor tasa de infiltración en el barbecho. Los caudales de riego utilizados en las evaluaciones 2 y 3 fueron de 45 l/s y 41 l/s, respectivamente.

El tipo de riego de las evaluaciones 2 y 3 se denomina riego por escurrimiento, y se caracteriza porque la parcela tiene una pendiente que ayuda al proceso de avance del agua de riego. Este sistema es útil para situaciones en las que el caudal de riego es escaso y también cuando los suelos tienen una elevada tasa de infiltración, ya que se puede regar más superficie en el mismo tiempo, pero plantea un grave problema de manejo, ya que el agua de riego se acumula en la parte baja de la parcela. Este agua produce pérdidas por percolación profunda o por escorrentía y/o descensos en la uniformidad del riego.

La Tabla 1 presenta los parámetros indicadores de la idoneidad del riego en las tres evaluaciones. Los parámetros de uniformidad del riego, UD y CU, son más elevados

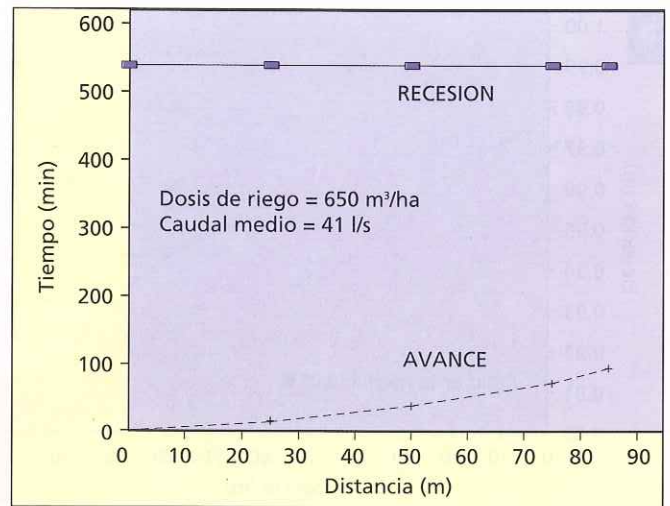


Figura 1. Evaluación 1, realizada en una parcela con maíz de 0,3 ha, bien nivelada a 0% de pendiente. Curva de avance y recesión.

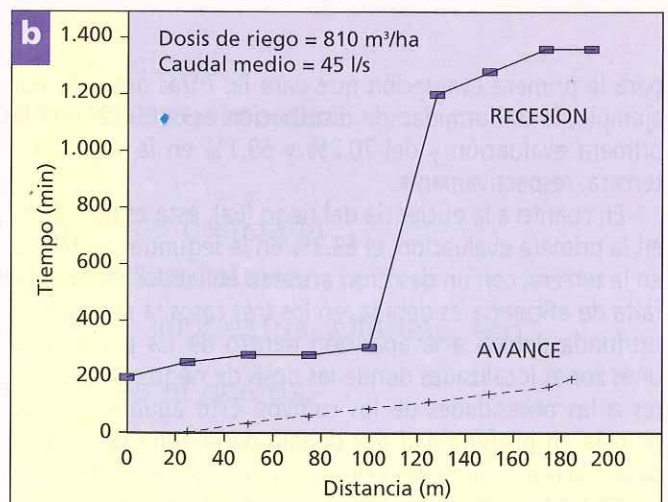
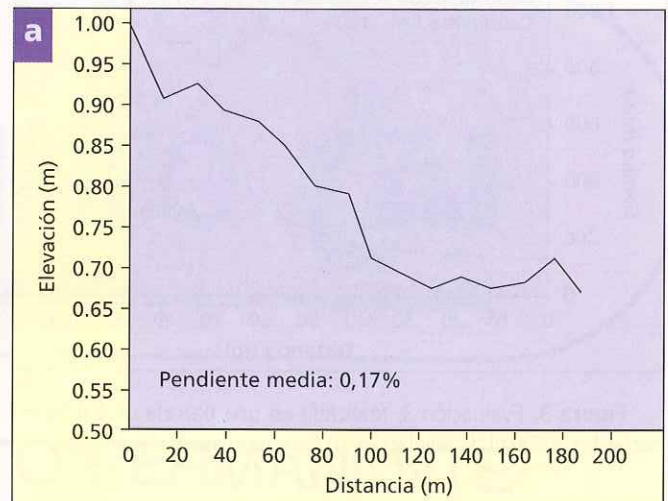


Figura 2. Evaluación 2, realizada en una parcela de 0,57 ha con alfalfa. a) Perfil de nivelación, b) Curvas de avance y recesión.

Parcela de riego por inundación de la finca experimental del Servicio de Investigación Agraria en Montañana (Zaragoza).

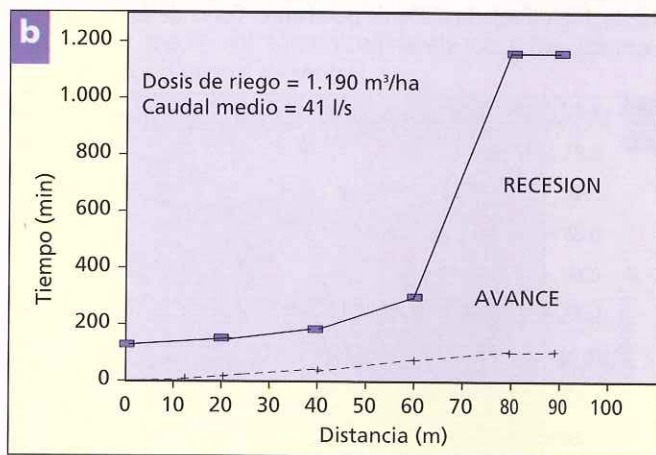
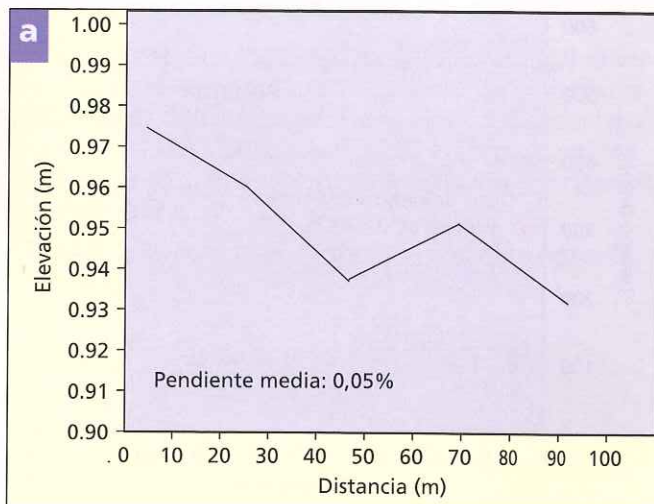


Figura 3. Evaluación 3, realizada en una parcela de 0,4 ha en barbecho. a) Perfil de nivelación, b) Curvas de avance y recesión.

para la primera evaluación que para las otras dos. Así, por ejemplo, la uniformidad de distribución es del 94,2% en la primera evaluación y del 70,2% y 69,1% en la segunda y tercera, respectivamente.

En cuanto a la eficiencia del riego (E_a), ésta es del 92,2% en la primera evaluación, el 68,3% en la segunda y el 68,0% en la tercera, con un descenso acusado en las dos últimas. La falta de eficiencia es debida, en los tres casos, a percolación profunda debida a la aparición dentro de las parcelas de unas zonas localizadas donde las dosis de riego son superiores a las necesidades de los cultivos. Este agua en exceso percola en profundidad por debajo de la zona de raíces y pasa a la red de drenajes y desagües de la zona regable.

En los tres riegos contemplados en este estudio las pérdidas por escorrentía superficial, PES, son del 0% ya que las parcelas estaban rodeadas de caballos.

Los resultados de estas evaluaciones indican que el estado de nivelación tiene una importancia fundamental en la idoneidad del riego, tanto en lo que respecta a la elección de la pendiente media de la parcela como en el mantenimiento de ésta. Así, por ejemplo las figuras 2-a y 3-a revelan una gran variabilidad dentro de la pendiente media de cada parcela.

TABLA 1. Parámetros indicadores de la idoneidad del riego en las evaluaciones 1, 2 y 3.			
	Evaluación 1	Evaluación 2	Evaluación 3
UD (%)	94,2	70,2	69,1
CU (%)	94,5	68,9	57,5
E_a (%)	92,2	68,3	68,0
PPP (%)	7,8	31,7	31,0
PES (%)	0,0	0,0	0,0

Un error en el tiempo de aplicación en el riego por escurrimiento produce un importante descenso de la uniformidad del riego. Un descenso del tiempo de aplicación hace que la parcela quede insuficientemente regada y un exceso del tiempo de aplicación hace que el agua se acumule en la parte baja de la parcela, tal como ocurrió en las evaluaciones 2 y 3.

Sin embargo, un aumento de la dosis aplicada en el riego por inundación, debida a un error en el tiempo de aplicación, se reparte por igual en toda la parcela con lo cual la uniformidad del riego se sigue manteniendo alta.

Por esta razón, y debido al desarrollo de la técnica de nivelación con rayo láser, el riego por inundación puede ser un buen sistema de riego, capaz de alcanzar elevadas uniformidades y eficiencias, siempre que la parcela esté bien nivelada y el caudal sea suficientemente alto para el tamaño y las características de infiltración de la parcela.

BIBLIOGRAFÍA

- CHRISTIANSEN, J. E. (1942). «Irrigation by sprinkling». California Agricultural Experimental Station Bulletin 670, EE.UU. 94 pp.
- HEERMANN, D. F., HOWELL, T. A., SOLOMON, K. H. (1990). «Irrigation efficiency and uniformity». En: *Management of farm Irrigation Systems*. Ed. G. J. Hoffman, T. A. Howell, K. H. Solomon. American Society of Agricultural Engineers. St. Joseph, Michigan. EE.UU. p. 125-149.
- HOFFMAN, G. J., HOWELL, T. A., SOLOMON, K. H. (1990). «Introduction». En: *Management of farm Irrigation Systems*. Ed. G. J. Hoffman, T. A. Howell, K. H. Solomon. American Society of Agricultural Engineers. St. Joseph, Michigan. EE. UU. p. 6-10.
- MERRIAM, J. L., SHEARER, M. N., BURT, C. M. (1980). «Evaluating Irrigation systems and practices». En: *Design and operation of farm irrigation systems*. Ed. M. E. Jensen. American Society of Agricultural Engineers. St. Joseph, Michigan. EE. UU. p. 721-760.
- WALKER, W. R. (1989). «Guidelines for designing and evaluating surface irrigation systems». FAO Irrigation and drainage paper 45. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), Roma. 137 pp.