

## EFICIENCIA DE RIEGO EN EL AREA DE RIEGO DEL RÍO DULCE, SANTIAGO DEL ESTERO, ARGENTINA

Gabriel A. Angella; Daniel R. Prieto; Richard Soppe  
INTA-EEA Santiago del Estero, Jujuy 850 (4200) Santiago del Estero, Argentina  
TE/FAX: (0385) 422-4596 E-mail: [gangella@inta.gov.ar](mailto:gangella@inta.gov.ar); [dprieto@inta.gov.ar](mailto:dprieto@inta.gov.ar)

The Río Dulce Irrigation System is located in the province of Santiago del Estero, Argentina. The system water use efficiency was calculated as 36%. This figure can be ascribed to: 1- inadequate on-farm irrigation management; 2- poor maintenance of canal network. Application of very high depths provokes the water table to rise, resulting in a secondary salinization process. Present paper deals with on-farm irrigation performance. Its main objectives are: 1- to study on-farm irrigation performance; 2- to evaluate on-farm irrigation performance indicators. Data were arranged in two groups. Application efficiency was calculated as 40% for both Group 1 and Group 2. However, causes and consequences are different for each group, depending on irrigation practices. Application efficiency was preferred more than storage efficiency as an indicator of adequacy, while standard deviation is not recommended here as a good indicator of uniformity. Others uniformity indicators (coefficient of variation, Christiansen's coefficient and distribution uniformity) had a similar behaviour, being all of them appropriate to evaluate uniformity. It is stressed that no single indicator is able to describe on-farm irrigation performance by itself, but a reasonable number of them can provide valuable information for decision making.

### INTRODUCCION

La performance de los sistemas de riego ha sido tratada con significativa atención en los últimos años; se han hecho numerosas sugerencias sobre qué tipo de indicadores adoptar, pero no hay un claro consenso sobre ellos. Se requiere una aproximación estándar para el cálculo de indicadores que sean confiables, produzcan resultados consistentes y sean fáciles de interpretar (Bird y Gillot, 1992). Van Vuren (1992) es partidario de una forma más práctica para tratar el fenómeno de la eficiencia de riego para el diseño y manejo de los sistemas, definiendo objetivos realistas. El tema sólo puede ser manejado efectivamente definiendo un marco apropiado, estableciendo cuáles son los propósitos y los límites del estudio.

Santiago del Estero es una provincia argentina de clima semiárido; la agricultura bajo riego (110,000 has potenciales en el Area de Riego del Río Dulce) juega un importante papel en desarrollo económico y social. La eficiencia global del sistema ha sido calculada en un 36% (Prieto, D., Soppe, R. y Angella, G., 1994). Este bajo porcentaje puede atribuirse a dos causas principales: 1- inadecuado manejo de agua al nivel predial (aplicación de láminas excesivas); 2- falta de mantenimiento de la red de canales. La aplicación de láminas de riego excesivas significa un suministro de agua que sobrepasa la capacidad de drenaje de los suelos y causa el ascenso de la capa freática, causando el proceso de revenimiento salino o salinización secundaria.

El presente trabajo esta especialmente enfocado al estudio de la performance de riego al nivel de finca. Se analizaron datos de campo recolectados en el Area de Riego del Río Dulce, Santiago del Estero, usando diversos indicadores. Además, se estudió la confiabilidad y comportamiento de tales indicadores.

Van Vuren (op.cit.) y Wolters (1992) mencionan diversas causas para incrementar la eficiencia de riego. En el Area de Riego del Río Dulce las principales ventajas serían: a) controlar la profundidad de la capa freática para detener y evitar el proceso de revenimiento salino, y b) mejorar la disponibilidad de agua en el caso de años de escasez.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

- Propender a una mejora en la eficiencia de riego al nivel de finca.

### **Objetivos específicos**

- Estudiar la performance de riego (adecuación a la demanda y uniformidad de aplicación) al nivel de finca;
- evaluar indicadores de performance.

## **CARACTERISTICAS GENERALES DEL AREA DE RIEGO DEL RIO DULCE**

El Área de Riego del Río Dulce esta situada entre 27° 25' y 28° 15' de latitud Sur, y entre 63° 50' y 64° 20' de longitud Oeste. Tiene una superficie de casi 300,000 hectáreas, pero es posible irrigar casi 110,000. El canal principal (Canal Matriz) tiene una longitud de 21.8 kilómetros, esta completamente revestido y su capacidad máxima de conducción es de 100 metros cúbicos por segundo (m<sup>3</sup>/s). El área esta dividida en 5 zonas: Zona I: 19,334 hectáreas; Zona II: 46,333 hectáreas; Zona III: 15,211 hectáreas; Zona IV: 18,802 hectáreas; Zona V: 7,300 hectáreas. La pendiente general del 1% con dirección NE, E y SE. La textura predominante de los suelos es franco-limosa. El intervalo de riego es de 30 días, con un caudal en cabecera de finca de 300 l/s. El método de riego predominante es superficial por compartimientos o tablonas, en casos puntuales se emplea el riego por surcos. Tanto los problemas de salinidad como de drenaje se estudiaron desde los comienzos del Proyecto del Río Dulce (PRD). La red principal de drenes no fue completamente terminada, los drenes construidos están en la actualidad prácticamente fuera de servicio por falta de mantenimiento.

## **CONSIDERACIONES TEORICAS**

### **Riego y performance**

Hay consenso de que la performance de los sistemas de riego debe analizarse teniendo en cuenta un valor objetivo o "target" y una serie de valores "estándar", que describen un rango aceptable alrededor del valor objetivo. De acuerdo a Murray-Rust y Snellen (1993), citados por Bos et al. (1993), tanto los valores objetivos como los estándares son

específicos y dependientes de las características del sistema. La performance de un sistema de riego puede analizarse por diferentes razones y desde diferentes puntos de vista (Hoeberichts, 1996). Según Rao (1993), cualquier marco y cualquier conjunto de indicadores sólo capturan parte de la compleja realidad de un sistema de riego. Muchos autores (Murray-Rust y Snellen (op cit.), citados por Bos et al. (op.cit.); Hoeberichts (1996); Vincent (1980); Bird y Gillot (op. cit.); Burt et al. (1997); Small y Svendsen (1992); Bos et al. (op. cit.); Molden et al (1998)) tienen diferentes aproximaciones.

### **Manejo de agua al nivel de finca**

El manejo de agua al nivel de finca se estudia usualmente en relación con la *adecuación a la demanda* y a la *uniformidad de aplicación*. La adecuación a la demanda indica hasta que punto la cantidad de agua de riego aplicada satisface los requerimientos de los cultivos. Varios indicadores se han propuesto para describir la adecuación a la demanda. Israelsen (1962) propuso el concepto de *Eficiencia de Almacenamiento (Es)*, definido como el volumen de agua infiltrado y almacenado en la zona radical durante el riego (*Ws*), dividido por el volumen de agua necesaria en la zona radical antes del riego (*Wm*).

(1)

$$Es = 100 * Ws / Wn$$

La  
Com  
isión  
Inter  
naci  
onal  
de  
Rieg  
o y  
Dre  
naje  
(ICI  
D),  
(Bos  
et  
al.,  
198  
5)

como:

$$Ea = 100 * Vm / Vf$$

donde: *Vm*: volumen de agua necesario, y disponible para la evapotranspiración del cultivo, para evitar estrés indeseable en las plantas a lo largo del ciclo de crecimiento (m<sup>3</sup>)

*Vf*: volumen de agua de riego derivada al lote (m<sup>3</sup>)

La uniformidad de aplicación indica cuán uniformemente se aplica el agua de riego sobre la superficie del terreno. Es bien conocido que la uniformidad de aplicación puede afectar el rendimiento de los cultivos (Letey, 1985; Solomon (1985), citados por Clemmens, 1991). Además, tiene importantes consecuencias en el equilibrio salino de la zona de raíces. Se han propuesto varios indicadores para evaluar uniformidad de aplicación:

- Uniformidad de Distribución (*DU*), citado por Burt et al. (op. cit.);
- Coeficiente de Uniformidad de Christiansen (*UCC*), citado por Bird y Gillot (op. cit.);
- Desviación Estándar (*s*), citada por Jurriens (1996);
- Coeficiente de Variación (*CV*), citado por Bird y Gillot (op. cit.).

Los indicadores mencionados son apropiados para el estudio de la performance en distintos niveles del sistema de riego (lote, distrito, proyecto) y para analizar eventos de riego individuales o comparar situaciones en un intervalo de tiempo.

## **MATERIALES Y METODOS**

### **Estudio de la performance de riego al nivel de finca**

#### Adecuación a la demanda

Se evaluaron la adecuación a la demanda y la uniformidad de aplicación. En las fincas seleccionadas se midió: superficie; caudal de riego; tiempo de aplicación del riego; contenido hídrico del suelo antes y después del riego. El caudal se determinó por el método de área velocidad, midiéndose la velocidad del agua con micro-molinete. El contenido

hídrico del suelo se midió mediante sonda neutrónica, sobre una grilla de 20 tubos de acceso, a 5 profundidades: 15, 45, 75, 125 y 175 cm.

Se calcularon la Eficiencia de Almacenamiento y la Eficiencia de Aplicación. En el caso de la Eficiencia de Almacenamiento, el término  $W_n$  (agua necesaria en la zona radical antes del riego) se trató como el volumen de agua requerido para llevar la zona de exploración radical hasta un contenido hídrico de capacidad de campo. Se asumió una zona de exploración radical de 100 cm para el algodón y los riegos de pre-siembra, y de 60 cm para las hortalizas. Al analizarse eventos de riego individuales,  $V_m$  (volumen de agua necesario, y disponible para la evapotranspiración del cultivo, para evitar estrés indeseable en las plantas a lo largo del ciclo de crecimiento, en la definición de Eficiencia de Aplicación) también se consideró como el volumen de agua requerido para llevar el contenido hídrico de la zona de raíces hasta capacidad de campo.

#### Uniformidad de Aplicación

Las láminas de riego infiltradas en el área de influencia de cada tubo de acceso se usaron para la determinación de la Uniformidad de Aplicación. Se emplearon los siguientes indicadores: Uniformidad de distribución ( $DU$ ); Coeficiente de Christiansen ( $UCC$ ); Desviación Estándar ( $s$ ); Coeficiente de Variación ( $CV$ ).

#### Evaluación de los indicadores

Los indicadores de la adecuación a la demanda (Eficiencia de Aplicación y Eficiencia de Almacenamiento) se evaluaron según su comportamiento bajo condiciones de sub o sobre-irrigación. Los indicadores de uniformidad se evaluaron en referencia a:

- consistencia: los indicadores deberían tener la misma tendencia en todos los casos;
- sensibilidad: un indicador debería ser lo suficientemente sensible para detectar diferencias, pero no debería ser excesivamente afectado por valores extremos;
- fácil interpretación/familiaridad: debería ser fácilmente entendible y su formulación debería sugerir inmediatamente un indicador de uniformidad;
- datos ignorados debido a su formulación: no debería ser dependiente de sólo una parte de los datos, y por lo tanto perder parte de la información;
- comparación: puede ser juzgado contra valores objetivo o “targets”.

### ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### Estudio de la performance de riego al nivel de finca

Se analizaron 18 eventos de riego. La Tabla 2 muestra las características de cada evento.

Tabla 2. Datos correspondientes a cada evento de riego.

<i>Finca</i>	<i>Area</i> ( <i>ha</i> )	<i>Q</i> ( <i>l/s</i> )	<i>dr</i> ( <i>mm</i> )	<i>df</i> ( <i>mm</i> )	<i>Ws</i> ( <i>mm</i> )	<i>s</i> ( <i>mm</i> )	<i>CV</i>	<i>DU</i>	<i>UCC</i>	<i>Es</i> %	<i>Ea</i> %
<i>1</i>	2.25	161	52	296	149	34	0.22	0.77	0.82	100	18

2	2.25	232	51	223	152	20	0.13	0.86	0.90	100	23
3	2.25	111	100	200	107	32	0.30	0.61	0.78	60	50
4	2.25	178	98	199	119	22	0.19	0.77	0.85	60	49
5	1.2	422	106	222	107	48	0.45	0.45	0.66	74	48
6	0.7	80	70	144	108	41	0.38	0.65	0.74	72	49
7	1.15	111	77	150	316	41	0.13	0.81	0.89	100	51
8	1.3	159	41	292	128	38	0.30	0.67	0.79	100	14
9	1.6	283	42	318	55	8	0.14	0.85	0.88	70	13
10	3.9	92	108	110	144	45	0.32	0.72	0.76	100	98
11	2.8	109	119	168	170	22	0.13	0.85	0.90	100	71
12	0.6	175	60	315	73	16	0.22	0.72	0.82	100	19
<i>Finca</i>	<i>Area</i>	<i>Q</i>	<i>dr</i>	<i>df</i>	<i>Ws</i>	<i>s</i>	<i>CV</i>	<i>DU</i>	<i>UCC</i>	<i>Es</i>	<i>Ea</i>
	(ha)	(l/s)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)				%	%
13	3.6	254	115	305	96	28	0.29	0.66	0.77	60	38
14	0.4	41	29	47	64	24	0.37	0.68	0.69	100	62
15	1.5	35	8	23	19	5	0.28	0.63	0.76	100	35
16	2.5	20	44	21	33	8	0.24	0.68	0.80	50	210
17	2.3	80	46	90	60	23	0.38	0.59	0.68	66	51
18	2.2	55	6	32	32	8	0.24	0.74	0.83	90	19

donde:

$Q$  = Caudal

$dr$  = lámina requerida

$df$  = lamina derivada

$Ws$  = agua almacenada después del riego, hasta 2 m de profundidad

$s$  = desviación estándar de WS

$CV$  = Coeficiente de Variación

$DU$  = Uniformidad de Distribución

$Es$  = Eficiencia de Almacenamiento

$Ea$  = Eficiencia de Aplicación

Los datos se analizaron separadamente en 2 grupos. El Grupo 1 contiene las fincas 14 a 18, pertenecientes a la Zona V del Area de Riego del Río Dulce, mientras que el Grupo 2 contiene las fincas 1 a 13, pertenecientes a las Zonas I, II y IV. La causa de esta separación es que la Zona V posee características propias que la diferencian del resto del Area: es eminentemente hortícola, el método de distribución de agua es a la demanda o semi-demanda, y, en el caso de los eventos analizados, se utilizó método de riego por surcos. Además, los riegos de la Zona V son riegos en planta, mientras que el resto son en su mayoría riegos de pre-siembra.

En las Tablas 3 y 4 se observa los valores promedio para los Grupos 1 y 2 respectivamente.

*Tabla 3. Valores promedio para el Grupo 1*

<i>Grupo 1</i>	<i>dr</i> (mm)	<i>df</i> (mm)	<i>Ws</i> (mm)	<i>s</i> (mm)	<i>CV</i>	<i>DU</i>	<i>UCC</i>	<i>Es %</i>	<i>Ea</i> (%)
<i>Promedio</i>	27	43	42	14	0.30	0.66	0.75	90	75

Tabla 4. Valores promedio para el Grupo 2

<i>Grupo 2</i>	<i>dr</i> (mm)	<i>df</i> (mm)	<i>Ws</i> (mm)	<i>s</i> (mm)	<i>CV</i>	<i>DU</i>	<i>UCC</i>	<i>Es %</i>	<i>Ea</i> (%)
<i>Promedio</i>	79	235	133	31	0.25	0.72	0.81	100	40

Debe mencionarse que el limitado número de eventos analizados en el Grupo 1 puede afectar, hasta cierto punto, la comparación entre los grupos. Sin embargo, algunas diferencias surgen claras. La lámina media derivada al lote, *df*, es mucho mayor para el Grupo 2. Esta gran disparidad no se explica solamente por el patrón de cultivos diferente (diferentes requerimientos), sino también por las características de la Zona V antes citadas. La Eficiencia de Aplicación es casi 2 veces más alta en el Grupo 1; sin embargo el promedio en este Grupo está fuertemente afectado por la finca 16, con una Eficiencia de Aplicación de 210%, lo que revela las limitaciones de su concepto: da altos valores (aún más altos que 100%) en casos de sub-irrigación. De esta forma, una Eficiencia de Aplicación promedio del 75% no parece muy realista; si la finca 16 es ignorada,  $Ea = 43\%$ , porcentaje muy semejante al promedio del Grupo 2. Sin embargo, las causas y consecuencias de estos porcentajes similares son muy diferentes. En el Grupo 1, la finca 18 tiene una Eficiencia de Aplicación muy baja; la lámina derivada, *df*, correspondiente a esta finca está en el orden de la *df* promedio del Grupo. Así, la baja Eficiencia de Aplicación no puede imputarse a una lámina derivada excesiva, sino más bien a la pequeña lámina requerida, *dr*, la cual difícilmente puede ser manejada en forma eficiente en el riego por superficie. Lo mismo puede decirse de la finca 15. En este caso, adecuar el momento de riego (esperar a que los requerimientos sean mayores) ayudaría a mejorar la Eficiencia de Aplicación. La pequeña lámina derivada promedio (43 mm) indicaría que no se producen pérdidas por percolación importantes.

En el Grupo 2, 5 fincas sobre 13 tienen una Eficiencia de Aplicación muy baja; en cuatro de estas fincas, la lámina derivada es por mucho más alta que la lámina derivada promedio del grupo, la cual es alta en sí misma. Otro caso de baja Eficiencia de Aplicación es la finca 13, en la cual la lámina derivada es también más alta que la lámina derivada promedio del grupo. En estos casos, sería posible mejorar la Eficiencia de Aplicación reduciendo la lámina derivada. La comparación entre la lámina requerida promedio (79 mm) y la lámina derivada promedio sugiere que se producen importantes pérdidas por percolación.

Se puede argumentar que la comparación entre riegos de pre-siembra y riegos en planta no es justa, ya que los primeros usualmente se comportan en forma diferente de los segundos. En el riego de pre-siembra se usan usualmente láminas más grandes, ya que los agricultores aplican una cantidad extra de agua para el lavado de sales, la velocidad de infiltración es mayor, etc. Supongamos entonces un requerimiento de lavado del 25% para el Grupo 2; luego, la “nueva” lámina requerida sería  $79 \text{ mm} + 20 \text{ mm} = 99 \text{ mm}$ , redondeando, 100 mm. Aún así, la lámina derivada promedio (235 mm) sigue siendo mucho mayor que los

supuestos 100 mm, lo que mantiene el concepto de que la Eficiencia de Aplicación es baja y las pérdidas por percolación son altas en el Grupo 2.

En cuanto a los indicadores de uniformidad, las diferencias entre los grupos es pequeña, con una situación levemente mejor para el Grupo 2. La performance más pobre del Grupo 1 puede relacionarse con las pequeñas láminas derivadas, que en los riegos por superficie están normalmente asociadas a una baja uniformidad.

### **Evaluación de los indicadores**

El comportamiento de los indicadores se muestra en la Tabla 5. La finca 11 se seleccionó como base para la comparación ya que presentó uno de los valores más altos de los indicadores de adecuación y los mejores valores entre los indicadores de uniformidad.

*Tabla 5: Variación en porcentaje de los indicadores*

<i>Finca</i>	<i>s</i>	<i>CV</i>	<i>UCC</i>	<i>DU</i>	<i>Es</i>	<i>Ea</i>
1	+54	+69	-9	-9	0	-75
2	-9	0	0	+1	0	-68
3	+45	+130	-13	-28	-40	-30
4	0	+46	-6	-9	-40	-31
5	+118	+246	-27	-47	-26	-32
6	+86	+192	-18	-23	-28	-31
7	+86	0	-1	-5	0	-28
8	+73	+131	-12	-21	0	-80
9	-64	+8	-2	0	-30	-82
10	+104	+146	-16	-15	0	+38
11	0	0	0	0	0	0
12	-27	+69	-9	-15	0	-73
13	+27	+123	-14	-22	-40	-46
14	+9	+161	-20	-16	0	-13
15	-77	+115	-16	-26	0	-51
16	-64	+31	-4	-8	-50	+196
17	+4	+138	-18	-21	-34	-27
18	-64	+85	-8	-13	-10	-73



## **Indicadores de adecuación a la demanda**

La Eficiencia de Almacenamiento,  $E_s$ , se torna importante cuando durante el riego se almacena insuficiente cantidad de agua en la zona radical. Siendo el agua necesaria en la zona radical antes del riego,  $W_n$ , definida como la diferencia entre capacidad de campo y el contenido hídrico inicial del suelo, sería imposible almacenar una cantidad de agua superior a esta diferencia. Como resultado,  $0\% < E_s < 100\%$ . Ya que la Eficiencia de Almacenamiento no está en absoluto ligada al agua derivada al lote, no es sensible a casos de sobre-irrigación, no brinda información sobre qué cantidad de agua se ha perdido.

La Eficiencia de Aplicación tiene la reconocida desventaja de que da altos porcentajes, aún mayores al 100%, en casos de sub-irrigación (Abermethy, 1986). La finca 16 (Tabla 2) es un claro ejemplo de ello. Según Jurriens (1996), establecer “targets” adecuados para la Eficiencia de Aplicación es más adecuado en situaciones donde los procesos de salinización y anegamiento son serios, y el concepto de eficiencia está más relacionado a las pérdidas de agua. Ya que la situación predominante en el Área de Riego del Río Dulce es de sobre-irrigación, se considera, a los fines del presente estudio, a la Eficiencia de Aplicación como el indicador de adecuación más apropiado.

## **Indicadores de Uniformidad**

Los indicadores se evaluaron en referencia a:

*Consistencia:* De la Tabla 5 es claro que la Desviación Estándar tuvo una tendencia marcadamente diferente comparada con otros indicadores. Mientras que el Coeficiente de Variación, la Uniformidad de Distribución y el Coeficiente de Uniformidad de Christiansen muestran en todos los casos la misma tendencia, la Desviación Estándar se comporta en forma distinta en las fincas 2, 4, 7, 9, 12, 15, 16 y 18. Esto puede explicarse por el hecho de que la Desviación Estándar no compara variaciones de una serie contra la media de esa serie, como por ejemplo lo hace el Coeficiente de Variación. Así, una variación dada alrededor de una media alta es menos importante que la misma variación alrededor de una media baja. Se podría decir que la consistencia es una de las más importantes características que un indicador debe satisfacer, por tal razón, la Desviación Estándar no se recomienda aquí como un indicador de uniformidad confiable. De aquí en más, sólo serán analizados el Coeficiente de Variación, la Uniformidad de Distribución y el Coeficiente de Uniformidad de Christiansen. Todos ellos cumplieron con la característica de consistencia.

*Sensibilidad:* El Coeficiente de Variación muestra la sensibilidad más alta, mientras que la Uniformidad de Distribución y el Coeficiente de Uniformidad de Christiansen tienen casi la misma. Una posible causa de este comportamiento un tanto distinto es la característica del Coeficiente de Variación de ser afectado por valores extremos; sin embargo, esta mayor sensibilidad no aparece como una limitante de peso, en la medida de que siguió la misma tendencia que los otros indicadores.

*Fácil interpretación/familiaridad:* No hay preferencia por ninguno de los indicadores. Las definiciones del Coeficiente de Variación y el Coeficiente de Uniformidad de Christiansen

son similares, incluyendo respectivamente desviaciones y desviaciones al cuadrado de la media; por su parte, la Uniformidad de Distribución tiene una simplicidad conceptual. Todos ellos han sido ampliamente usados en investigación y su familiaridad no puede ser negada.

*Datos ignorados debido a su formulación:* El Coeficiente de Variación, la Uniformidad de Distribución y el Coeficiente de Uniformidad de Christiansen hacen uso de todos los datos de una serie, por lo que tampoco hay preferencia en este caso.

*Comparación:* La bibliografía presenta numerosos casos en que los valores calculados de el Coeficiente de Variación, la Uniformidad de Distribución y el Coeficiente de Uniformidad de Christiansen se comparan contra valores objetivos o “targets”; nuevamente, no se determinan preferencias para esta condición.

## CONCLUSIONES

A los fines del estudio de la performance de riego, los datos se arreglaron en dos grupos y se analizaron separadamente. El Grupo 1 contiene las fincas 14 a 18, pertenecientes a la Zona V del Área de Riego del Río Dulce, mientras que el Grupo 2 contiene las fincas 1 a 13, pertenecientes a las Zonas I, II y IV.

La Eficiencia de Aplicación fue semejante para los dos grupos: 43% para el Grupo 1 y 40% para el Grupo 2. Sin embargo, las causas y consecuencias de estos porcentajes similares son muy distintas. En el Grupo 1 la baja Eficiencia de Aplicación no puede imputarse a una lámina derivada excesiva, sino más bien a la pequeña lámina requerida,  $d_r$ , la cual difícilmente puede ser manejada en forma eficiente en el riego por superficie. Adecuar el momento de riego (esperar a que los requerimientos sean mayores) ayudaría a mejorar la Eficiencia de Aplicación. La pequeña lámina derivada promedio (43 mm) indicaría que no se producen pérdidas por percolación importantes. En el Grupo 2, la baja Eficiencia de Aplicación puede atribuirse a las altas láminas derivadas (235 mm en promedio). En este caso, sería posible mejorar la Eficiencia de Aplicación reduciendo la lámina derivada. La comparación entre la lámina requerida promedio (79 mm) y la lámina derivada promedio sugiere que se producen importantes pérdidas por percolación.

En cuanto a los indicadores de uniformidad, las diferencias entre los grupos es pequeña, con una situación levemente mejor para el Grupo 2. La performance más pobre del Grupo 1 puede relacionarse con las pequeñas láminas derivadas, que en los riegos por superficie están normalmente asociadas a baja uniformidad.

Para los propósitos de este estudio, la Eficiencia de Aplicación se prefirió como indicador de adecuación a la demanda. La Desviación Estándar no se recomienda como un indicador de uniformidad confiable. El Coeficiente de Variación, la Uniformidad de Distribución y el Coeficiente de Uniformidad de Christiansen se comportaron bien, y no hubo especial preferencia por ninguno de ellos. Se ratifica el concepto de que la performance de riego al nivel de finca debe estudiarse empleando un conjunto de indicadores que consideren adecuación a la demanda y uniformidad de aplicación.

## BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Abernethy, C. L. (1986). "Performance measurement in canal water management: a discussion". ODI/IIMI Irrigation Management Network Paper 86/2d, ODI, London.
- Bird, J.D.; Gillot, P.W. (1992). "A Quantitative Review of Adequacy and Equity Indicators for Irrigation System Distribution". Advances in Planning, Design and Management of Irrigation Systems as Related to Sustainable Land Use.-Vol. 3, pp. 901-914. Edited by Jay Feyen, Emmanuel Mwendera y Moussa Badji-Centre of Irrigation Engineering (CIE)-European Committee for Water Resources Management (ECOWARM). Belgium.
- Bos, M. (1985). "Summary of ICID Definitions on Irrigation Efficiency". ICID bulletin, January 1985, Vol. 34 N° 1, pp. 28-31.
- Bos, M. G.; Murray-Rust, D.; Merrey, D.; Johnson, H.; Snellen, W. (1993). "Methodologies for Assessing Performance of Irrigation and Drainage Management". Paper prepared for the Workshop of the Working Group on Irrigation and Drainage Performance. 15<sup>th</sup> International Congress of the ICID, The Hague, The Netherlands.
- Burt, C. M., Clemmens, A. J., Strelkoff, T. S., Solomon, K. H., Bliesner, R. D., Hardy L. A., Howell, T. A., Members, ASCE; Eisenhauer, D. E. (1997). "Irrigation Performance Measures: Efficiency and Uniformity". Journal of Irrigation and Drainage Engineering, Vol. 123, N° 6, November/December, 1997, pp. 423-442.
- Clemmens, A. J. (1991). "Irrigation Uniformity Relationships for Irrigation System Management". Journal of Irrigation and Drainage Engineering, Vol. 117, N° 5, September-October, 1991, pp. 682-699.
- Houberitch, A. (1996). "In search of water users' perspectives of irrigation performance: a participatory research approach". Mimeo, International Irrigation Management Institute. Lahore.
- Israelsen, O. W.; Hansen, V. E. (1962). *Irrigation Principles and Practices*. Third edition, John Wiley & Sons, Inc. New York.
- Jurriens, R. (1996). "Assessing Seasonal Irrigation Service Performance". Working Papers on Irrigation Performance 3. International Food Policy Research Institute. Washington, D. C.
- Molden, D. J.; Sakthivadivel, R.; Perry, C.; de Fraiture, C.; Kloezen, W. (1998). "Indicators for Comparing Performance of Irrigated Agricultural Systems". Research Report 20. International Water Management Institute. Colombo, Sri Lanka.
- Prieto, D.; van der Eijk, J.; Angella, G. (1994). "Eficiencia del Uso del Agua en el PRD. Parte III: Eficiencia y Uniformidad de Aplicación". Publicación de las Primeras Jornadas Provinciales de Riego, pp. 23-30. Santiago del Estero, Argentina, July 4<sup>th</sup> and 5<sup>th</sup>.
- Prieto, D.; Soppe, R.; Angella, G. (1994). "La Eficiencia del Uso del Agua de Riego en el Proyecto del Río Dulce (PRD), Santiago del Estero. Parte I: La Eficiencia Global del Proyecto". Publicación de las Primeras Jornadas Provinciales de Riego, pp. 13-18. Santiago del Estero, Argentina, July 4<sup>th</sup> and 5<sup>th</sup>.
- Rao, P. S. (1993). "Review of Selected Literature on indicators of irrigation performance". IIMI Research Paper. Colombo, Sri Lanka.

- Small, L. E.; Svendsen, M. (1992). "A framework for assessing irrigation performance". *Irrigation and Drainage Systems* 4(4): 283-312. Revised edition as: Working Paper on Irrigation Performance 1. International Food Policy Research Institute, Washington DC.
- Till, M.R.; Bos, M.G. (1985). "The Influence of Uniformity and Leaching on the Field Application Efficiency". *ICID Bulletin*, January, 1985, Vol. 34, N°1 pp. 32-36.
- Vincent, L. (1980). "Efficiency as a concept in irrigation design". School of Development Studies, Discussion Paper 68.
- Vuren, G. van. (1992). "Irrigation efficiency coefficients: Anchors or quicksands?" p. 97-104 in Diemer, G. and Slabbers, J. (eds.) *Irrigators and Engineers*, Thesis Publishers, Amsterdam.
- Wolters, W. (1992). *Influences on the Efficiency of Irrigation Water Use*. ILRI-Publication 51-International Institute for Land Reclamation and Improvement. Wageningen, The Netherlands.