


 TRABAJOS TÉCNICOS
AGUA

5

Estudio comparativo del desempeño de los canales secundarios del Proyecto del Río Dulce

Daniel Prieto¹, Gabriel Angella¹, Linden Vincent²

¹Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Santiago del Estero, Jujuy 850 (4200), Santiago del Estero, Argentina.

²Universidad de Wageningen, Droevendaalsesteeg 4, 6708, Wageningen, Países Bajos.

dprieto951@gmail.com

INTRODUCCIÓN

Desde los 90, se acepta que la agricultura usa el 70 % del agua dulce (superficial y subterránea) y que la usa con baja eficiencia (<40 %). Si bien puede demostrarse que el 60 % de agua no aprovechada se reintegra al ciclo hidrológico, y puede ser utilizada aguas abajo, la calidad desmejora y las altas inversiones en infraestructura y operación para almacenar, derivar, distribuir y aplicar el agua no tienen el retorno esperado en producción. Con una creciente demanda por agua, esa situación movilizó a la comunidad del riego y agencias de financiación a cuantificar en detalle el uso del agua de riego, identificar causas y consecuencias y proponer intervenciones para modernizar y rehabilitar la infraestructura y gestión de los sistemas de riego.

El desarrollo de la evaluación del desempeño (ED) de los sistemas de riego fue entonces el objetivo y su finalidad: obtener la línea de base antes de las intervenciones (y muchas veces justificarlas), identificar aspectos estructurales y no estructurales para mejorar, comparar sistemas para identificar lo que hacen

bien los que se desempeñan mejor y dar a los gestores una herramienta de fácil aplicación para el monitoreo de su gestión y priorización de inversiones.

Lo primero fue la definición y validación de indicadores de desempeño a diferentes niveles de los sistemas. Las propuestas fueron tan numerosas como sus perspectivas (Levine, 1982; Bird y Gillot, 1992; Prieto *et al.*, 1994; Prieto y Angella, 2008). En segundo lugar, el marco conceptual que surgió de visualizar al riego en la base de un modelo de sistemas integrados jerárquicamente demostró que las distintas perspectivas y objetivos explicaban la diversidad de indicadores propuestos. Se diferenciaron tres tipos de actividades: de proceso (generadoras de productos), de resultados (cantidad y calidad de los productos inputs de otros sistemas) y de impacto en el ambiente y otros sectores (Small y Svendsen, 1992).

Enfocados a los gestores, se introdujo (Murray-Rust y Snellen, 1993) el concepto de servicio, paradigma central de la modernización, la diferenciación del desempeño operacional del estratégico; el reconocimiento de su dependencia del diseño, la gobernanza, la infraestruc-

tura, y las capacidades instituciones y organizativas; la diferenciación de objetivos y metas y la necesidad de umbrales para valorar el desempeño.

En definitiva, la ED de los sistemas de riego colectivos se evalúa en función de 4 criterios: adecuado suministro, equidad, predictibilidad y oportunidad (Bird y Gillot, 1992; Jurriens, 1996; Bos *et al.*, 2005), y se utiliza un grupo mínimo de indicadores que se agrupan en internos y externos. Los internos evalúan procesos, relacionan valores medidos con planeados y requieren muchos datos sin sitio específico. Su relación con los productos y resultados no es unívoca y no sirven para estudios comparativos. Los externos evalúan el desempeño estratégico usando la relación insumo-producto y muestran relaciones generales y tendencias y sirven para estudios comparativos e identificar necesidades de estudios (Bos *et al.* 1994; Jurriens, 1996; Burt y Styles, 1999; Malano y Burton, 2001; Molden *et al.*, 1998).

Este trabajo parte de un estudio integral del desempeño del PRD del grupo de trabajo en Recursos Naturales (GTRR-NN) del INTA Santiago del Estero y la Unidad Ejecutora de Riego (UER) de la

provincia de Santiago del Estero que ejemplifica el uso de indicadores internos y externos para evaluar el desempeño en relación con el adecuado suministro y su variabilidad espacial y temporal en el sistema y en 8 subsistemas del PRD, a 2 escalas, anual y mensual.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los caudales derivados y el área de los cultivos son información de la UER y el GTRRNN. Las necesidades de agua de los cultivos (NAC) y requerimientos de riego (RI) se calcularon con CROPWAT 8.0 usando información agrometeorológica del campo experimental del INTA-EEASE y la precipitación de las observaciones más próximas al área en estudio. La precipitación efectiva (P_e) se calculó con el método del SCS del USDA.

El entorno operativo se caracteriza con 2 indicadores internos, la Capacidad de Derivación Relativa (CDR) y la Derivación Operativa Relativa (DOR). La CDR relaciona la capacidad máxima de los canales en cabecera ($CD_{Máxima}$) y los requerimientos brutos máximos de riego ($RI_{Máximo}$) de su área servida y expresa la capacidad del canal para cubrir la mayor demanda.

$$\left(CDR = \frac{CD_{Máxima}}{RI_{Máximo}} \right)$$

La DOR es la relación entre el caudal real derivado (D_{Real}) y la capacidad de derivación máxima del canal ($CD_{Máxima}$) y muestra el grado de uso o subuso de la capacidad de conducción instalada.

$$\left(DOR = \frac{D_{Real}}{CD_{Máxima}} \right)$$

Para la evaluación del desempeño del sistema y sus canales secundarios, en relación con el adecuado suministro, se utilizaron 2 indicadores externos: el Suministro Relativo de Agua (SRA) y el Suministro Relativo de Riego (SRR). El SRA (Levine, 1982) es un indicador de la oferta total de agua para los cultivos en un período determinado. Compara los aportes de riego y lluvia con las necesidades netas de los cultivos en el período.

$$\left(SRA = \frac{V_{der} + P_e}{NAC} \right)$$

V_{der} = Volumen o lámina derivada en el período (mm/año o mm/mes); P_e = Precipitación efectiva en el período (mm/año o

mm/mes); NAC = Necesidades de Agua de los Cultivos en el período (mm/año o mm/mes).

El SRR es un indicador de desempeño específico del suministro de agua de riego

$$\left(SRR = \frac{V_{derivado}}{RI} \right)$$

$V_{derivado}$ = Volumen o lámina derivada en el período estudiado (mm/año o mm/mes) y RI = Requerimientos Netos de Riego (NAC - P_e).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización del área y canales estudiados

En la figura 1 se esquematiza la infraestructura de almacenamiento, (Río Hondo), derivación (Los Quiroga) y la red de distribución principal (canal Matriz y 8 secundarios):

La tabla 1 resume las características hidráulicas de los canales; la tabla 2, las áreas servidas por cada uno de ellos y la tabla 3, la infraestructura, dimensiones y número de usuarios controlada por cada responsable de la distribución (tomero).

La CDR de los secundarios se presenta en la figura 2. Para el cálculo de las NAC y RI brutas máximas se utilizó el patrón

de cultivos, lluvia efectiva con 80 % de probabilidad de ocurrencia y eficiencia global (49 %) usadas en el diseño del sistema (Romanella, 1971), aunque sobreestima las necesidades actuales. Todos los canales secundarios del PRD tienen una CDR muy alta. Los de mayor CDR y con mayor potencialidad para ampliar el área o flexibilizar la entrega de agua por capacidad de almacenamiento "en línea" son los viejos canales de tierra, construidos antes de la regulación del río, mientras que los canales rediseñados durante el trunco durante el proceso de modernización del PRD tienen menores CDR y posibilidades.

La caracterización más precisa de las condiciones actuales las muestra la DOR con los valores medios anuales, el máximo absoluto y los máximos con una probabilidad de ocurrencia del 75 % para el período estudiado (tabla 4).

Todos los valores de la DOR dan indicios de una fuerte subutilización de la infraestructura a nivel anual, excepto el valor máximo del San Martín que indica un uso cercano a su máxima capacidad en algún período. Para profundizar el análisis se calcularon los valores mensuales de la DOR (tabla 5) que confirman una importante subutilización de la capacidad instalada que impacta en el desempeño del sistema al requerir un volumen grande de llenado de la red.

Figura 1. Esquema del PRD.



Medición de caudales

Tabla 1. Caracterización de los principales canales secundarios del PRD al año 2002.

Nivel del canal		Longitud (km)		Caudal (m ³ /s)	
Primario	Secundario	Cemento	Tierra	Proyectada	Actual
Matriz		21,722		100	100
	Alto C ⁽¹⁾	0	0	0,5	0,5
	Norte	0,50	26,50	7	7
	La Cuarteada	20,03	16,31	8	8
	Sud 1.ª Sección	1	24,45	11,5	11,5
	San Martín	38,87	26,13	10	10
	A los Romanos ⁽²⁾	0	10,00	20	20
	Municipal ⁽¹⁾	0	9,07	2,0	2,0
	Suri Pozo	0	20,00	27	27
	Jume Esquina ⁽²⁾	0	21,44	20	21
	Sud 2.ª Sección	0	9,20	4,5	4,5
	Simbolar	0	16,30	15	10
TOTAL SECUNDARIOS		60,4	169,40	125	121

⁽¹⁾ No incluidos por su baja capacidad y superficie servida; ⁽²⁾ Canal Robles en el esquema; ⁽³⁾ trasvasa agua del río dulce al salado, no se incluye.

Tabla 2. Características operativas de los 8 canales secundarios principales.

Canal	N.º tomeros	N.º derivaciones	Área bruta		Área con derecho de riego	
			N.º parcelas	Ha	N.º parcelas	ha
Norte ⁽¹⁾	3	59	448	12529	258	6605
La Cuarteada ⁽¹⁾	7	84	940	31246	513	10038
Sud 1.ª ⁽¹⁾	12	122	1592	34822	1317	13621
Sud 2.ª ⁽¹⁾	1	23	695	11231	602	5900
Romanos ⁽¹⁾	7	164	1045	23975	459	6649
Suri Pozo ⁽²⁾	20	125	1705	83790	1293	21275
San Martín ⁽³⁾	10	113	1988	54085	1487	14146
Sec. Simbolar ⁽⁴⁾	4	28	351	12547	293	7454
TOTAL	64	721	8854	273258	6256	86860

⁽¹⁾ Distrito Banda; ⁽²⁾ Distrito Fernández; ⁽³⁾ Distrito San Martín; ⁽⁴⁾ Distrito Simbolar.

Tabla 3. Número medio de compuertas, longitud de canales, número de usuarios, área bruta y neta por tomero según canal secundario.

Canal	N.º compuertas	Longitud media de canal (km)	N.º de usuarios	Área bruta (ha)	Área con derecho de agua permanente (ha)
Suri Pozo ⁽²⁾	6	4	65	4190	1064
Sec. Simbolar ⁽⁴⁾	7	12	73	3145	1868
San Martín ⁽³⁾	9	12	168	8476	1910
Sud 1.ª ⁽¹⁾	10	4	110	2902	1135
La Cuarteada ⁽¹⁾	12	10	73	4464	1434
Norte ⁽¹⁾	20	14	86	4176	2202
Sud 2.ª ⁽¹⁾	23	9	602	11231	5900
Romanos ⁽¹⁾	23	7	66	3425	950
PRD	13	7	142	5671	1959

⁽¹⁾ Distrito Banda; ⁽²⁾ Distrito Fernández; ⁽³⁾ Distrito San Martín; ⁽⁴⁾ Distrito Simbolar.

Figura 2. CDR original de los canales secundarios estudiados.

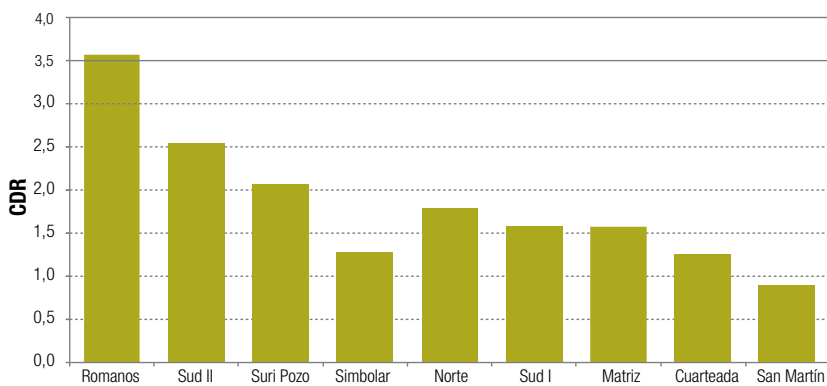


Tabla 4. Valores de DOR medios, máximos absolutos y máximos con una probabilidad de ocurrencia del 75 % en los secundarios del PRD.

Canal	Derivación operativa relativa		
	Media	Máx.	75 %
Matriz	0,26	0,63	0,41
Norte	0,18	0,74	0,28
La Cuarteada	0,29	0,92	0,49
Sud I	0,22	0,73	0,35
San Martín	0,36	0,94	0,58
A los Romanos	0,24	0,58	0,39
Suri Pozo	0,25	0,64	0,39
Sud II	0,19	0,44	0,31
Simbolar	0,29	0,72	0,44

Figura 3. Valores anuales del SRA para los canales secundarios del PRD.

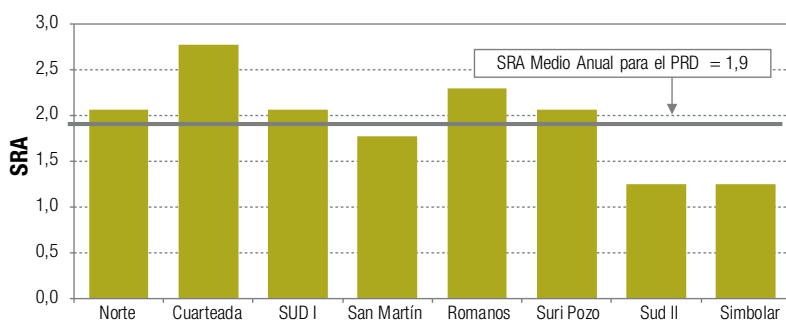
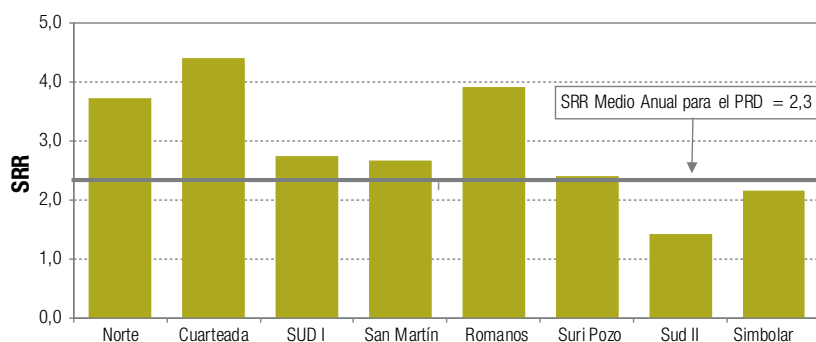


Figura 4. Valores anuales del SRR para los canales secundarios del PRD.



LA EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO

El suministro relativo de agua (SRA)

Los valores medios anuales para el período estudiado del SRA (figura 3) muestran:

- Desigualdad de los valores entre los canales (indicando inequidad).
- Que los dos últimos canales derivados (Sud II y Simbolar), con valores cercanos a 1,0, no solo reciben menos agua, sino que existiría subirrigación en su área de dominio.
- Que el canal San Martín es el que menos agua utiliza (por el sifón mediante el cual cruza el río, que limita su capacidad), lo que confirma la opinión de sus usuarios. Y que los canales A los Romanos y Suri Pozo son los que más agua reciben.
- Un alto valor en el Canal La Cuarteada, cuyas causas se deberán analizar, pero que expone la utilidad de la ED por canales para priorizar estudios detallados y asignación de recursos.

Suministro relativo de riego (SRR)

La figura 4 presenta los valores medios anuales del SRR de los secundarios y del sistema. Los valores y las diferencias entre los canales (inequidad) son mayores que en el caso del SAR: los dos canales que menos agua usan son el Sud II y Simbolar, mientras que los 2 que más agua usan son el Canal a La Cuarteada y el Canal a Los Romano, alrededor de 4 veces más agua que la necesaria.

Análisis comparativo

Si bien los valores han sido juzgados hasta acá en relación con los que se consideran esperables, el análisis comparativo con sistemas similares resultó útil. El valor medio del PRD es algo inferior al 3,3 del Proyecto del Río Lerma en México con uso conjunto de agua superficial y subterránea y similar al valor de medio de 2,15 del Proyecto Syhan en Turquía (Molden *et al.*, 1998).

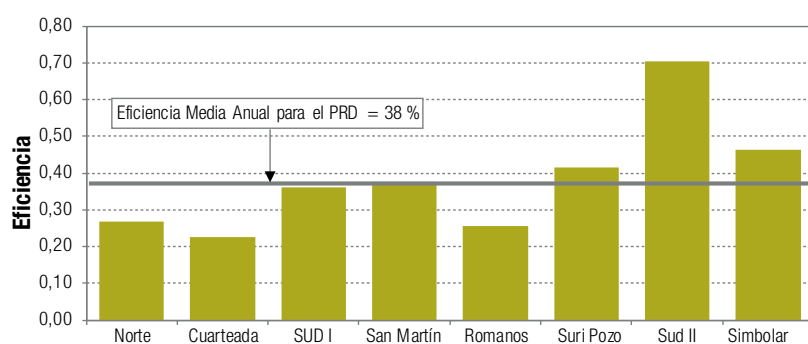
Eficiencia

Si bien las eficiencias de riego a nivel de proyecto o distrito no son consideradas buenos indicadores por razones fuera del alcance de este análisis, su uso frecuente impulsó la inclusión de esta sección.

La figura 5 muestra los valores de la eficiencia de los canales secundarios y para todo el sistema. La eficiencia de riego es, por definición, la inversa del SRR. Como es lógico, las conclusiones son las mismas que con los anteriores indi-

Tabla 5. Variación mensual del DOR en los canales secundarios del PRD.

Canal		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
Matriz	Media	0,20	0,17	0,18	0,24	0,27	0,17	0,36	0,43	0,44	0,42	0,30	0,22
	95 % límite superior	0,27	0,24	0,22	0,29	0,38	0,23	0,38	0,46	0,48	0,48	0,37	0,31
	95 % límite inferior	0,13	0,10	0,13	0,19	0,15	0,11	0,34	0,41	0,40	0,37	0,22	0,13
Norte	Media	0,23	0,18	0,12	0,18	0,20	0,19	0,21	0,25	0,28	0,41	0,25	0,24
	95 % límite superior	0,29	0,25	0,17	0,21	0,30	0,23	0,24	0,27	0,34	0,50	0,34	0,30
	95 % límite inferior	0,17	0,10	0,07	0,15	0,11	0,14	0,17	0,23	0,23	0,33	0,17	0,18
La Cuarteada	Media	0,35	0,24	0,18	0,23	0,21	0,22	0,47	0,45	0,55	0,49	0,33	0,29
	95 % límite superior	0,44	0,39	0,25	0,30	0,35	0,35	0,53	0,52	0,63	0,57	0,42	0,38
	95 % límite inferior	0,26	0,09	0,10	0,16	0,08	0,08	0,41	0,39	0,46	0,40	0,24	0,20
Sud I	Media	0,20	0,20	0,15	0,22	0,22	0,13	0,29	0,38	0,40	0,40	0,24	0,17
	95 % límite superior	0,30	0,31	0,19	0,26	0,33	0,18	0,33	0,44	0,49	0,51	0,35	0,27
	95 % límite inferior	0,11	0,10	0,11	0,17	0,11	0,08	0,25	0,32	0,31	0,29	0,13	0,07
San Martín	Media	0,38	0,26	0,22	0,41	0,43	0,48	0,48	0,59	0,58	0,52	0,52	0,40
	95 % límite superior	0,51	0,37	0,29	0,49	0,61	0,56	0,56	0,65	0,63	0,63	0,60	0,56
	95 % límite inferior	0,25	0,16	0,16	0,33	0,24	0,39	0,41	0,53	0,52	0,42	0,44	0,25
Romanos	Media	0,24	0,18	0,19	0,19	0,20	0,13	0,34	0,41	0,41	0,37	0,31	0,26
	95 % límite superior	0,33	0,24	0,23	0,24	0,30	0,18	0,38	0,45	0,46	0,43	0,37	0,37
	95 % límite inferior	0,15	0,11	0,14	0,14	0,11	0,09	0,29	0,38	0,36	0,32	0,26	0,15
Suri Pozo	Media	0,18	0,13	0,14	0,23	0,25	0,19	0,34	0,42	0,45	0,40	0,29	0,24
	95 % límite superior	0,25	0,18	0,18	0,27	0,38	0,25	0,38	0,45	0,49	0,45	0,37	0,34
	95 % límite inferior	0,12	0,08	0,10	0,19	0,12	0,14	0,31	0,39	0,41	0,35	0,22	0,14
Sud II	Media	0,19	0,12	0,17	0,27	0,36	0,27	0,36	0,40	0,37	0,37	0,25	0,17
	95 % límite superior	0,33	0,17	0,24	0,35	0,53	0,38	0,45	0,50	0,47	0,49	0,37	0,28
	95 % límite inferior	0,06	0,07	0,11	0,20	0,19	0,16	0,27	0,30	0,27	0,24	0,13	0,06
Simbolar	Media	0,21	0,23	0,39	0,30	0,24	0,24	0,37	0,45	0,44	0,42	0,36	0,26
	95 % límite superior	0,28	0,33	0,45	0,33	0,34	0,31	0,42	0,47	0,47	0,46	0,42	0,37
	95 % límite inferior	0,13	0,14	0,33	0,26	0,14	0,17	0,32	0,42	0,40	0,38	0,29	0,15

Figura 5. Eficiencia media anual en el período bajo estudio de los canales secundarios del PRD.

cadres: hay una importante inequidad o variabilidad dentro del sistema con un mínimo de 23 % (La Cuarteada) a un máximo de 71 % (Sud II). La eficiencia media del sistema en el período fue de 38 %, un valor bajo y similar al encontrado en otro trabajo (Prieto *et al.*, 1994) para el período operado por la empresa Agua y Energía (1968-1989).

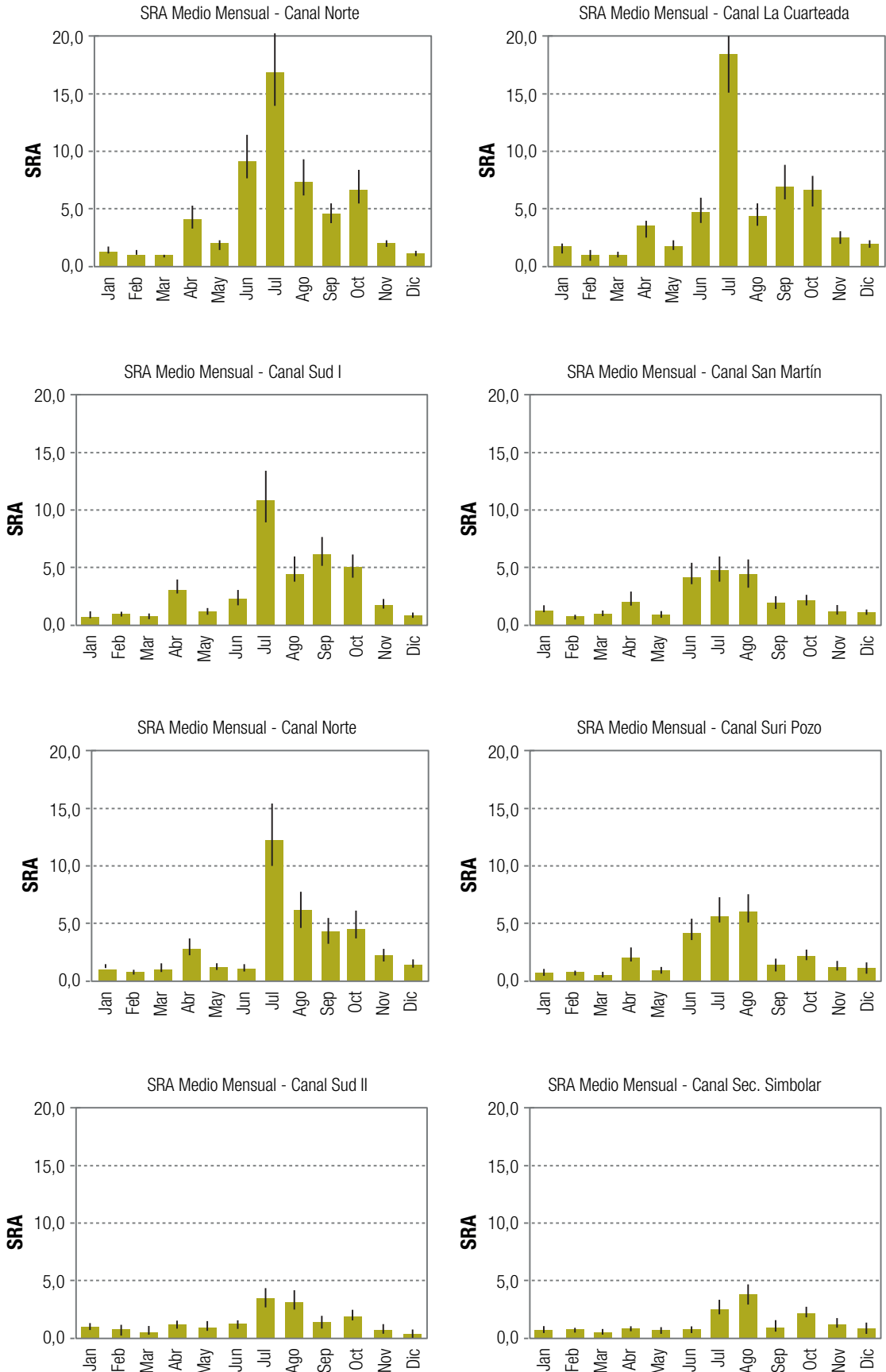
Suministro relativo de agua y riego a nivel mensual

Los valores anuales del SRA y SRR permiten el análisis comparativo entre canales, y con el proyecto, con otros sistemas de similares características (Molden *et al.*, 1998; Burt y Styles, 1999; Malano y Burton, 2001; Bos *et al.*, 2005) o

realizar comparaciones interanuales. Sin embargo, no muestran el impacto de las prácticas locales de manejo o gestión del riego que se observan a nivel mensual y que pueden explicar el impacto en la productividad del agua y el ambiental. Con la finalidad de superar esta limitación, se calcularon valores mensuales del SRA (figura 6) y SRR (no se muestran por igual tendencia que SRA).

Con alguna diferencia en intensidad, existen en todos los canales secundarios una muy importante variación de los valores medios mensuales del SRA y del SRR. Ambos identifican un alto consumo de agua de julio a octubre, donde se concentra el riego de presiembra de los cultivos de verano, que son la mayor área en el sistema y un segundo pico en otoño: marzo-abril, meses anteriores al corte anual y cuando se realizan riegos de presiembra para los cultivos de invierno. Traduciendo los valores de SRR en eficiencia obtenemos que hay meses con eficiencias del 10 % o menos.

Figura 6. Valores medios mensuales del SRA de los canales secundarios del PRD.



CONCLUSIONES

La ED, con algunos indicadores propuestos, demostró ser una herramienta efectiva para caracterizar la gestión y evaluar el desempeño del PRD en relación con el adecuado suministro de agua de riego, la equidad en la distribución entre sus subsistemas y permitió identificar aspectos prioritarios a estudiar en detalle.

Se aconseja la adopción de la ED como rutina en el trabajo de los operadores de los diferentes niveles de los sistemas de riego.

BIBLIOGRAFÍA

BIRD J.D.; Gillot, P.W.K. (1992). A quantitative review of adequacy and equity indicators for Irrigation System Distribution Proceedings of International Conference on Advances in Planning, Design and Management of Irrigation Systems as Related to Sustainable Land Use Vol 3. Leuven, Belgium.

BOS, M.G.; MURRAY-RUST, D.H.; MERREY, D.J.; JOHNSON, H.G.; SNELLEN, W.B. (1994). Methodologies for Assessing Performance of Irrigation and Drainage Management. Irrigation and Drainage Systems. Vol 7. N.º 4. Kluwer Academic Publishers. Países Bajos. 231-261 pp.

BOS, M.G.; BURTON, M.A.; MOLDEN, D.J. (2005). Irrigation and Drainage performance. Practical Guidelines. Alterra-ITAD-IWMI CABI Oxfordshire, Reino Unido.

BURT C.M.; STYLES, S.W. (1999). Modern Water Control and Management Practices in Irrigation. Impact on performance. FAO Water Reports N.º 19. FAO, Roma, Italia.

JURRIENS, R. (1996). Assessing Seasonal Irrigation Service Performance, IFPRI Working Papers on Irrigation Performance 3 Washington D. C., EUA.

LEVINE, G. (1982). Relative Water Supply: An Explanatory Variable for Irrigation Systems. Technical Report N.º 6. Cornell University, Ithaca, Nueva York, EUA.

MALANO, H.; BURTON, M. (2001). Guidelines of Benchmarking in the Irrigation and Drainage Sector. Knowledge Synthesis Report N.º 5 IPTRID-FAO Roma, Italia.

MOLDEN, D.J.; SAKTHIVADIVEL, R.; PERRY, C.J.; DE FRAITURE, C.; KLOEZEN, W.H. (1998). Indicators of Comparing Performance of Irrigated Agricultural Systems. Research Report 20. International Water Management Institute. Colombo.

MURRAY-RUST, D.H.; Snellen, W.B. (1993). Irrigation systems performance assessment and diagnosis. International

Irrigation Management Institute. Colombo, Sri Lanka.

PERRY, C.J. (1996). Quantification and Measurements of Minimum Set of Indicators of the Performance of Irrigation Systems. International Irrigation Management Institute. Colombo.

PRIETO, D.; SOPPE, R.; ANGELLA, G. (1994). La eficiencia de Riego en el Proyecto Río Dulce: Parte I: La Eficiencia Global. 1.ª Jornadas Provinciales de Riego, Santiago del Estero (INTA-EEASE y CIASE). Santiago del Estero, Argentina.

PRIETO, D.; ANGELLA, G. (2008). La Evaluación de Desempeño en la Modernización de la Gestión de los Sistemas de Riego. Síntesis de Resultados, Taller Internacional: Modernización de Riego y Uso de Tecnologías de Información. La Paz-Bolivia, PROCISUR-CYTED, Montevideo, Uruguay.

ROMANELLA, C.A. (1971). Planificación del Riego en el Área del Proyecto del Río Dulce. Informe Final. Santiago del Estero, Argentina.

SMALL, L.E.; SVENDSEN, M. (1992). A Framework for Assessing Irrigation Performance, Working Papers on Irrigation Performance No. 1. International Food Policy Research Institute, Washington.

