

# MODELACIÓN MATEMÁTICA DEL RIEGO POR SUPERFICIE COMO UNA ALTERNATIVA SUPERADORA PARA EL MANEJO DEL RIEGO EN FINCA

Schilardi C.<sup>1,2</sup>, Morábito J. A.<sup>1,3</sup> y Vallone R.C.<sup>1,4</sup>

(1) Facultad de Ciencias Agrarias-UNCuyo. Almirante Brown (5507), Mendoza – Argentina. E-Mail: [eschila@irrigacion.gov.ar](mailto:eschila@irrigacion.gov.ar)

(2) Departamento General de Irrigación

(3) Instituto Nacional del Agua – Centro Regional Andino

(4) E.E.A. INTA Mendoza

*Presentado a CONAGUA 2011. Resistencia Chaco, Argentina. 22 al 25 de junio.*

## RESUMEN:

El área regadía de la cuenca del río Tunuyán Superior abarca 51.484 ha con derechos de riego superficial, donde el 94% del área es utilizada con fines agrícolas (DGI, 2004), regándose el 84,1 % con métodos de riego superficiales (INDEC, 2002). El rendimiento del riego en el interior de las propiedades agrícolas es bajo o estaría caracterizado por circunstancias y prácticas de manejo del riego pobres (Salatino et al, 1992 y Schilardi et al, 2009b). El desempeño del riego por superficie es función del diseño físico de la parcela de riego, característica de infiltración de los suelos y prácticas de manejo (Raine, 1998). La gran cantidad de variables e interacciones que involucran al riego por superficie lo hace un proceso complejo, difícil de predecir o simular cuantitativamente para alcanzar altos niveles de desempeño. El objetivo general del estudio es determinar indicadores de desempeño potenciales de manejo del riego superficial y plantear diferentes escenarios de optimización que permitan identificar estrategias de manejo, ambientalmente sustentables y de bajo costo, para mejorar el manejo del riego en el interior de las propiedades agrícolas contribuyendo al mejor aprovechamiento del agua de riego en el área de regadío de la cuenca del río Tunuyán Superior. Se utilizaron modelos matemáticos basados en las ecuaciones de continuidad y dinámica del movimiento conocidas como de SAINT VENANT, mediante los modelos SIRMOD (Walker, 2003) y WINSRFR (USDA, 2009; Bautista et al 2009a; Bautista et al 2009b). El rendimiento potencial a alcanzar en la zona, mejorando el manejo del riego en finca sería del 68 % y considerando el balance salino del suelo, sería del 90 %. Los diferentes escenarios de optimización muestran que mejorando la práctica de manejo del riego con poca o ninguna inversión en el método de riego, la eficiencia de aplicación puede incrementarse un 26% para métodos de riego con desagüe al pie y en un 20% para métodos sin desagüe. La principal causa del bajo rendimiento del riego observado a campo para la zona bajo estudio es el excesivo tiempo de aplicación o corte. Los modelos de simulación utilizados resultaron de utilidad para interpretar los eventos de riego analizados a campo en cada caso en particular, como así también para el planteo de escenarios de optimización de los sistemas de riego. El valor agregado producido en los resultados, se sitúa en el hecho de que, con sólo una mirada sobre los gráficos obtenidos en los diferentes escenarios de optimización, se puede evaluar la respuesta del sistema en términos de indicadores de desempeño (Feyen, Jan y Zerihum, Dawit, 1999).

**Palabras clave:** riego superficial, modelación matemática, escenarios de optimización, cuenca Río Tunuyán Superior.

## INTRODUCCIÓN:

El área regadía de la cuenca del río Tunuyán Superior abarca 51.484 ha con derechos de riego superficial, donde el 94% del área es utilizada con fines agrícolas (DGI, 2004), regándose el 84,1 % con métodos de riego superficiales (INDEC, 2002). El rendimiento del riego en el interior de las propiedades agrícolas es bajo (Roscher, 1985) o estaría caracterizado por circunstancias y prácticas de manejo del riego pobres (Hsiao et al, 2007), según trabajos publicados por Salatino et al, 1992 y Schilardi et al, 2009b. El desempeño del riego por superficie es función del diseño físico de la parcela de riego, característica de infiltración de los suelos y prácticas de manejo (Raine, 1998).

La gran cantidad de variables e interacciones que involucran al riego por superficie lo hace un proceso complejo, difícil de predecir o simular cuantitativamente para alcanzar altos niveles de desempeño. Durante años las únicas ayudas para ingenieros en riego eran tablas y fórmulas simples que dieron sólo pautas o guías poco precisas (Booher, 1974; Jensen, 1981; Kay, 1986; James, 1988 y Cuenca, 1989; mencionados por Jurriëns, 2001). Los manuales más utilizados durante los años setenta eran aquéllos publicados por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA, 1974, 1983; mencionados por Jurriëns, 2001). Estos incluían fórmulas y diagramas que fueron aceptables como estándares de diseño durante varios años. Ello cambió con los adelantos en la programación por computadoras en los años setenta y el advenimiento de las computadoras personales en los años ochenta. Para superar limitaciones debidas al empirismo y aproximar un estudio racional, los modelos matemáticos aplicados al riego por superficie se volvieron más sofisticados, dando una mayor precisión a los procesos involucrados, aunque se aceptan diversas simplificaciones, los modelos generalmente se basan en la solución numérica de las ecuaciones de continuidad y dinámica del movimiento conocidas como de SAINT VENANT, según teoría de conservación de masa y momentum.

Teoría de la conservación de masa:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial Z}{\partial \tau} = 0 \quad (1)$$

Teoría de la conservación del momentum:

$$\frac{1}{Ag} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{2Q}{A^2 g} \frac{\partial Q}{\partial x} + (1 - F^2) \frac{\partial y}{\partial x} - (S_o - S_f) = 0 \quad (2)$$

Donde:

A: área de la sección transversal del frente de agua (m<sup>2</sup>)

Q: caudal (m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>)

t: tiempo (s)

x: distancia desde el inicio de la unidad de riego (m)

τ: tiempo de oportunidad (s)

Z: coeficiente de la ecuación de infiltración de Kostiakov-Lewis (m)

g: aceleración de la gravedad (9,81 m s<sup>-2</sup>)

y: tirante de agua (m)  
F: número de Froude  
So: pendiente del terreno ( $m\ m^{-1}$ )  
Sf: pendiente debida a la fricción ( $m\ m^{-1}$ )

Inicialmente los modelos de simulación resuelven las ecuaciones de continuidad y momentum utilizando el método “Euleriano” en función del “espacio-tiempo”, generando ecuaciones algebraicas no lineales. Tales ecuaciones pueden resolverse por tres caminos o modelos matemáticos: 1) Modelo Hidrodinámico, resuelve las ecuaciones (1) y (2) por solución numérica; 2) Modelo de Inercia-Cero, ignora el primer y segundo término de las ecuación (2) y finalmente 3) Modelo de Onda Cinemática, su solución se basa en ignorar los tres primeros términos de la ecuación (2).

Para la simulación del riego por superficie es importante conocer las características del problema a resolver ya que cada modelo matemático ofrece limitaciones en su resolución. Así los modelos hidrodinámicos y de inercia-cero ofrecen soluciones para todos los casos del riego por superficie, mientras que el modelo de onda-cinemática se limita a surcos o melgas donde se cumple: a) la pendiente superficial de terreno es mayor a  $0,0001\ m\ m^{-1}$  y b) si el agua escurre o drena libremente al final de la unidad de riego.

Existe una gran cantidad de aplicaciones (software) para el diseño y operación del riego por superficie, pero muy pocas han sido efectivamente utilizados. Entre los modelos de mayor difusión y aplicación a nivel mundial podemos citar a: SIRMOD (Walker, 2003) y WinSRFR (USDA, 2009; Bautista et al 2009a; Bautista et al 2009b). Los modelos y sus aplicaciones han permitido sistemáticamente mejorar el diseño y la operación de los métodos de riego, pudiendo ser usados en el manejo del riego en tiempo real (Losada Villasante y Roldan Cañas, 2009).

El objetivo del presente trabajo es estimar el rendimiento del riego potencial que permita optimizar el uso del recurso agua, en base a la mejora de la operación de los métodos de riego y considerando el balance salino de los cultivos regados, proponiendo diferentes alternativas de optimización que no requieran grandes inversiones y puedan ser adoptadas en la práctica por los agricultores. Finalmente mediante la utilización de los modelos de simulación del riego por superficie se propone la construcción de escenarios de optimización que permitan seleccionar la táctica y estrategia del manejo del riego por superficie según el objetivo productivo y recursos disponibles, transformándose en herramientas útiles para la planificación de la operación de los métodos de riego por superficie.

## **MATERIAL Y MÉTODOS:**

Las bases de la presente investigación se basan en trabajos de campo realizados en 48 propiedades agrícolas localizadas en la cuenca regadía del río Tunuyán Superior, donde se evaluó el rendimiento del riego según metodologías propuestas por los estándares de ASAE (American Society of Agricultural Engineering, 2000) y Walker y Skogerboe (1987) y se cuantificaron los indicadores de desempeño (eficiencias actuales), que califican los métodos de riego, utilizando la metodología definida por la ASCE (American Society of Civil Engineers, Burt et al 1997); los resultados se mencionan en Schilardi et al, 2009a y Schilardi et al, 2009b.

El desempeño de riego potencial, indica el grado de aprovechamiento máximo u óptimo que puede alcanzar el método de riego, se caracteriza según Burt, 1997; Morábito, 2003:

$$EAP_M = \frac{dr_{opt}}{db} \times 100 \quad (3)$$

Donde:

$EAP_M$ : eficiencia de aplicación potencial según manejo del método de riego (%)

db: lámina bruta aplicada en el riego, optimizada.

drop: lámina de riego o reposición óptima a aplicar en el riego.

Para cada una de las propiedades evaluadas se calculó el desempeño del riego potencial según el manejo del método de riego mediante el modelo matemático SIRMOD, para tal fin sobre el entorno de cálculo del programa se procedió a la modificación de ciertos parámetros tales como: caudal unitario, tiempo de aplicación, lámina de reposición, intervalo de riego, pendiente y longitud de la unidad de riego. En función del proceso de optimización del riego evaluado para cada valor de  $EAP_M$ , se obtuvieron sus correspondientes coeficientes de escurrimiento y percolación:  $Ep_M$  (porcentaje de escurrimiento al pie potencial de manejo) y  $Pp_M$  (porcentaje de percolación potencial de manejo), cuyos valores tienden a minimizarse y equilibrarse al máximo posible. Finalmente también para cada caso se obtienen sus correspondientes coeficientes de uniformidad y almacenaje ( $EDI_M$ , eficiencia de distribución potencial de manejo y  $EAL_M$ , eficiencia de almacenaje potencial de manejo).

La eficiencia de aplicación potencial según balance salino del suelo se obtuvo como la relación entre la lámina media infiltrada y almacenada en la zona radical y lámina media aplicada en el riego, considerando el requerimiento de lixiviación, el balance salino se evaluó con la metodología de Van Der Molen (1983). Tal relación representa la eficiencia de aplicación máxima que permitiría mantener un adecuado balance salino aceptable en la rizósfera del cultivo, según los fines productivos, por lo cual:

$$EAP_S = \frac{ETc - PP}{db} \times 100 \quad (4)$$

Donde:

$EAP_S$ : eficiencia de aplicación potencial según balance salino (%).

db: lámina de riego bruta, altura de agua aplicada al suelo mediante el riego, necesaria para satisfacer las necesidades netas de los cultivos y la percolación en profundidad de las sales presentes en el agua y suelo (Van Der Molen 1983)

Finalmente la  $EAP_S$  para cada propiedad agrícola estudiada es afectada por la EDI, de forma tal de garantizar el balance salino requerido en toda la unidad de riego evaluada. Mediante el uso de los modelos matemáticos se procedió a la determinación de escenarios de riego óptimos para los casos más frecuentes de cada una de las zonas de manejo bajo el área de regadío de la cuenca del río Tunuyán Superior. Para tal fin inicialmente se definió para cada caso mediante el modelo SIRMOD el rango de caudales y tiempos de aplicación razonables para cada escenario de optimización, posteriormente se procedió a la resolución de los múltiples escenarios planteados para cada caso mediante el módulo "Operations Analisis" del modelo WINSRFR, finalmente se validan sus resultados nuevamente con el modelo SIRMOD.

Para cada una de las variables respuestas ( $EAP_M$ ,  $EAP_S$ ), las variables explicativas fueron: zona de manejo, estación del año, cultivos y métodos de riego. Dentro de cada variable explicativa se consideran los siguientes factores o categorías: zona de manejo (Norte, Centro Norte, Centro Sur, Sur); estación del año (primavera, verano y otoño); cultivos (frutícolas y hortícolas); métodos de riego (con desagüe y sin desagüe). El análisis estadístico ejecutado fue análisis de la varianza unifactorial y prueba de comparaciones múltiples de Scheffé para un nivel de significancia del 5%. En caso de falta de normalidad de los datos analizados se procedió al análisis de los mismos mediante el test de Kruskal-Wallis. Se utilizó el software STATGRAPHICS Plus 5.1 (Statistical Graphics Corp., 2000).

## RESULTADOS:

La eficiencia de aplicación potencial de manejo para los métodos de riego por superficie en la cuenca bajo riego de río Tunuyán Superior es del 68 %, manteniéndose elevados niveles de desempeño en el almacenaje y uniformidad de distribución del agua de riego.

**Tabla 1: Media y desviación estándar para  $EAP$  y  $EAP_M$  y sus correspondientes indicadores de percolación profunda y escurrimiento al pie (expresados en porcentaje), según zona de manejo, estación, cultivo y método de riego**

| Variables                   | n            | EAP       |           | EAP <sub>M</sub> |           | Pp        | Pp <sub>M</sub> | Ep        | Ep <sub>M</sub> |           |
|-----------------------------|--------------|-----------|-----------|------------------|-----------|-----------|-----------------|-----------|-----------------|-----------|
|                             |              | Media     | S         | Media            | S         |           |                 |           |                 |           |
| Zona de Manejo              | Norte        | 9         | 37 a      | 17               | 66 a      | 17        | 18              | 8         | 45              | 26        |
|                             | Centro Norte | 17        | 44 a      | 27               | 71 a      | 9         | 29              | 17        | 27              | 12        |
|                             | Centro Sur   | 12        | 47 a      | 26               | 66 a      | 6         | 20              | 14        | 33              | 20        |
|                             | Sur          | 10        | 40 a      | 22               | 69 a      | 9         | 33              | 20        | 27              | 11        |
| Estación                    | Otoño        | 17        | 42 a      | 24               | 68 a      | 12        | 22              | 11        | 36              | 21        |
|                             | Primavera    | 17        | 49 a      | 25               | 67 a      | 6         | 29              | 22        | 23              | 11        |
|                             | Verano       | 14        | 36 a      | 21               | 70 a      | 11        | 25              | 12        | 39              | 18        |
| Cultivo                     | Hortícola    | 13        | 35 a      | 23               | 67 a      | 6         | 30              | 20        | 34              | 13        |
|                             | Frutícola    | 35        | 46 a      | 24               | 69 a      | 11        | 23              | 13        | 30              | 18        |
| Método de Riego             | Con desagüe  | 38        | 39 b      | 23               | 65 b      | 6         | 23              | 14        | 38              | 20        |
|                             | Sin desagüe  | 10        | 60 a      | 22               | 80 a      | 12        | 40              | 19        | 0               | 0         |
| <b>Río Tunuyán Superior</b> |              | <b>48</b> | <b>43</b> | <b>24</b>        | <b>68</b> | <b>10</b> | <b>25</b>       | <b>15</b> | <b>32</b>       | <b>17</b> |

**Tabla 2: Media y desviación estándar para  $EAP$  y  $EAP_M$  y sus correspondientes indicadores de almacenaje y uniformidad de distribución (expresados en porcentaje), según zona de manejo, estación, cultivo y método de riego**

| Variables      | n            | EAP   |      | EAP <sub>M</sub> |      | EDI   |    | EDI <sub>M</sub> |    | EAL   |     | EAL <sub>M</sub> |     |   |
|----------------|--------------|-------|------|------------------|------|-------|----|------------------|----|-------|-----|------------------|-----|---|
|                |              | Media | S    | Media            | S    | Media | S  | Media            | S  | Media | S   | Media            | S   |   |
| Zona de Manejo | Norte        | 9     | 37 a | 17               | 66 a | 17    | 95 | 6                | 92 | 5     | 99  | 2                | 99  | 2 |
|                | Centro Norte | 17    | 44 a | 27               | 71 a | 9     | 91 | 10               | 90 | 7     | 99  | 2                | 100 | 0 |
|                | Centro Sur   | 12    | 47 a | 26               | 66 a | 6     | 90 | 10               | 90 | 6     | 99  | 2                | 100 | 1 |
|                | Sur          | 10    | 40 a | 22               | 69 a | 9     | 90 | 9                | 89 | 8     | 100 | 0                | 100 | 0 |
| Estación       | Otoño        | 17    | 42 a | 24               | 68 a | 12    | 92 | 10               | 93 | 5     | 99  | 2                | 100 | 1 |
|                | Primavera    | 17    | 49 a | 25               | 67 a | 6     | 90 | 8                | 86 | 7     | 99  | 2                | 100 | 1 |

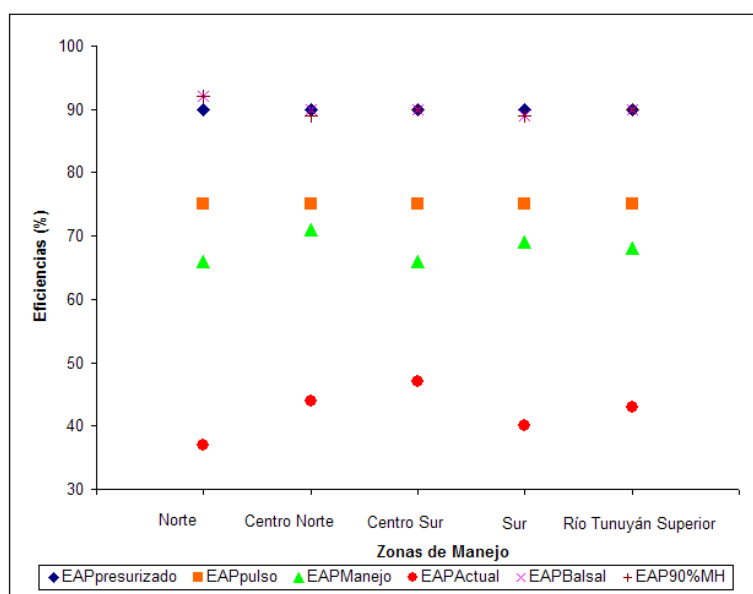
|                             |             | Verano    | 14        | 36 a             | 21        | 70 a      | 11        | 93               | 11        | 92       | 4         | 100              | 2          | 100      | 1 |
|-----------------------------|-------------|-----------|-----------|------------------|-----------|-----------|-----------|------------------|-----------|----------|-----------|------------------|------------|----------|---|
| Cultivo                     | Hortícola   | 13        | 35 a      | 23               | 67 a      | 6         | 91        | 9                | 87        | 7        | 100       | 0                | 100        | 0        |   |
| Variables                   | n           | EAP       |           | EAP <sub>M</sub> |           | EDI       |           | EDI <sub>M</sub> |           | EAL      |           | EAL <sub>M</sub> |            |          |   |
|                             |             | Media     | S         | Media            | S         | Media     | S         | Media            | S         | Media    | S         | Media            | S          |          |   |
| Cultivo                     | Frutícola   | 35        | 46 a      | 24               | 69 a      | 11        | 92        | 10               | 91        | 6        | 99        | 2                | 100        | 1        |   |
| Método de Riego             | Con desagüe | 38        | 39 b      | 23               | 65 b      | 6         | 93        | 8                | 89        | 7        | 100       | 1                | 100        | 1        |   |
|                             | Sin desagüe | 10        | 60 a      | 22               | 80 a      | 12        | 85        | 13               | 94        | 6        | 99        | 2                | 100        | 0        |   |
| <b>Río Tunuyán Superior</b> |             | <b>48</b> | <b>43</b> | <b>24</b>        | <b>68</b> | <b>10</b> | <b>91</b> | <b>9</b>         | <b>90</b> | <b>7</b> | <b>99</b> | <b>2</b>         | <b>100</b> | <b>1</b> |   |

La Tabla 3 detalla los valores de eficiencia de aplicación potencial por salinidad (EAP<sub>S</sub>) según zona de manejo, correspondientes a los umbrales de 90 y 100% de la producción de los cultivos.

**Tabla 3: Eficiencia de aplicación potencial según balance salino (EAP<sub>S</sub> - expresada en porcentaje) por zona de manejo y según CEesf para el área de influencia del río Tunuyán Superior**

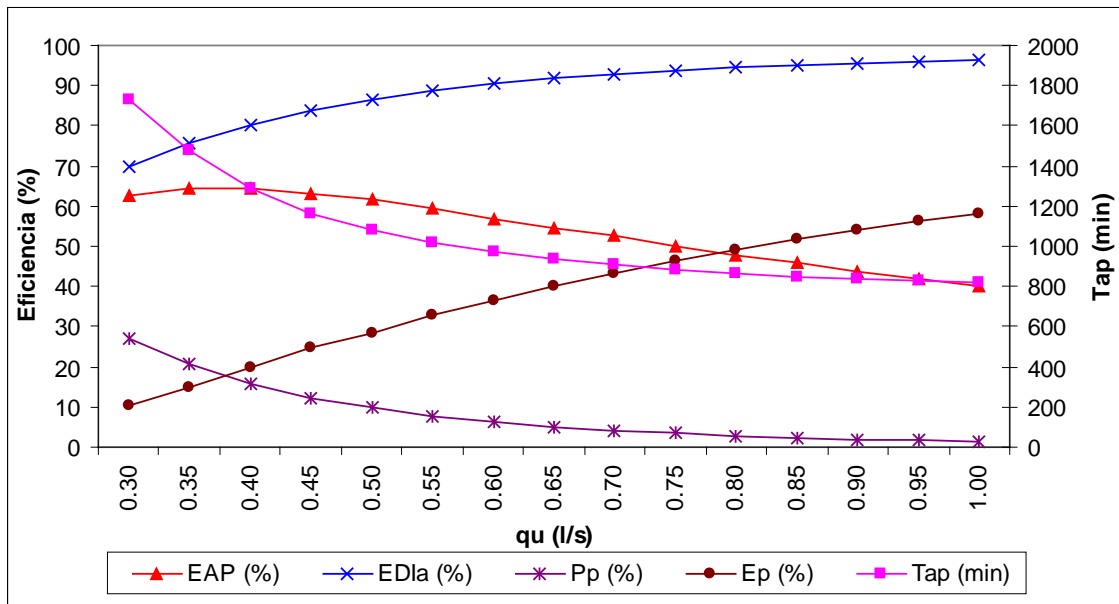
| Zona de Manejo              | n         | EAP <sub>S</sub> (%)  |            |                        |            |                     |            |
|-----------------------------|-----------|-----------------------|------------|------------------------|------------|---------------------|------------|
|                             |           | CEes 90% Maas-Hoffman |            | CEes 100% Maas-Hoffman |            | CEes 100% Nijensohn |            |
|                             |           | Media                 | S          | Media                  | S          | Media               | S          |
| Norte                       | 9         | 92 a                  | 5,1        | 92 a                   | 5,1        | 92 a                | 5,1        |
| Centro Norte                | 17        | 89 a                  | 8,1        | 88 a                   | 10,0       | 90 a                | 6,6        |
| Centro Sur                  | 12        | 90 a                  | 6,3        | 89 a                   | 6,2        | 90 a                | 6,3        |
| Sur                         | 10        | 89 a                  | 8,5        | 88 a                   | 7,7        | 89 a                | 8,5        |
| <b>Río Tunuyán Superior</b> | <b>48</b> | <b>90</b>             | <b>7,2</b> | <b>89</b>              | <b>7,8</b> | <b>90</b>           | <b>6,6</b> |

La figura 1 sintetiza en forma gráfica los valores de eficiencias de aplicación actuales y aquellas factibles a alcanzar en cada zona de manejo del río Tunuyán Superior. Se muestran también las eficiencias de aplicación factibles a alcanzar cambiando el método de riego.



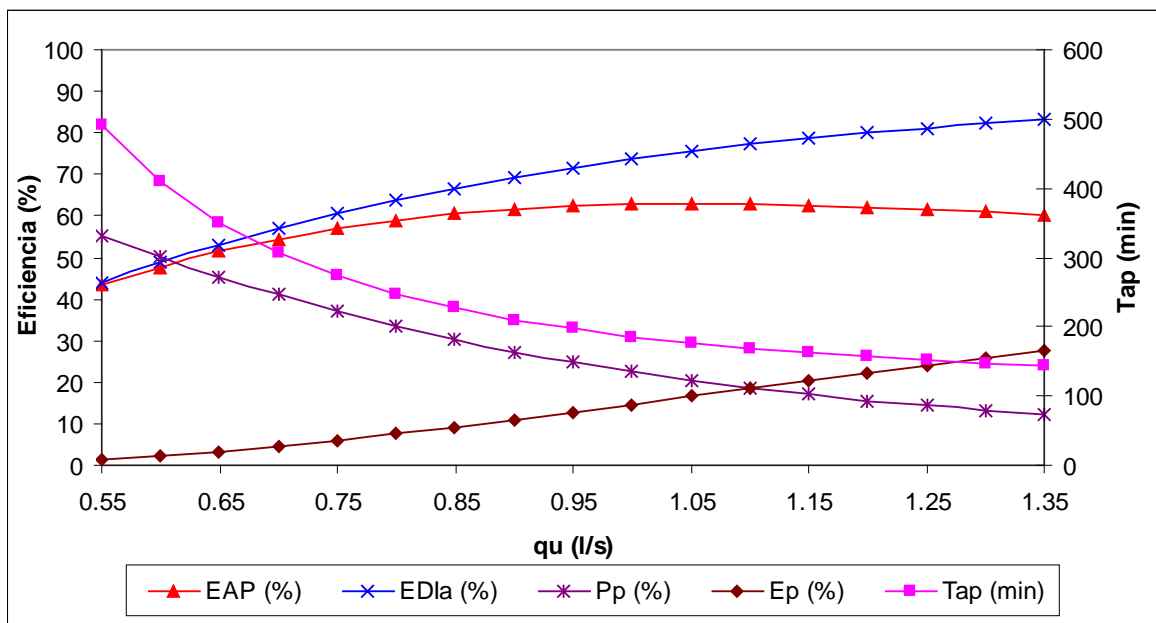
**Figura 1: Eficiencia de aplicación actual (modelada bajo SIRMOD) y eficiencias de aplicación potenciales en las distintas zona de manejo para el río Tunuyán Superior.**

Para cada una de las zonas de manejo se han obtenido escenarios de optimización del riego por superficie mediante el modelo WinSRFR. Los mismos permiten en función del caudal de manejo disponible ajustar los tiempos de riego necesarios para maximizar las láminas de reposición u objetivo en cada evento de riego durante el ciclo agrícola de los cultivos, se detallan ejemplos obtenidos para la zona norte y sur.



**Figura 2: Zona norte, cultivo frutícola, dr = 50 mm**

Si analizamos la figura 2, considerando que se quiere reponer una lámina de 50 mm en surcos con desagüe al pie, con una longitud de 150 m, en un suelo cuya infiltración básica es de  $8,69 \text{ mm h}^{-1}$  y con pendiente de riego de  $0,0172 \text{ mm m}^{-1}$ , sería posible lograr una EAP aproximada del 63% utilizando un caudal de  $0,35 \text{ L.s}^{-1}$  si se aplica durante un tiempo de 1450 minutos, generando una EDIa de 75%, Pp de 22% y Ep de 15%.



### **Figura 3: Zona sur, cultivo hortícola, $d_r = 40$ mm**

Si analizamos la figura 3, considerando que se quiere reponer una lámina de 40 mm en surcos con desagüe al pie, con una longitud de 250 m, en un suelo cuya infiltración básica es de  $5,49 \text{ mm h}^{-1}$  y con pendiente de riego de  $0,0062 \text{ mm m}^{-1}$ , sería posible lograr una EAP aproximada del 58% utilizando un caudal de  $0,90 \text{ L.s}^{-1}$  si se aplica durante un tiempo de 138 minutos, generando una EDIa de 80%, una Pp de 15% y Ep de 27%.

### **DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES:**

El rendimiento del riego en finca para la cuenca del río Tunuyán Superior puede incrementarse en un 25% mejorando el manejo del método de riego, que implica equilibrar y disminuir aproximadamente a la mitad los volúmenes escurridos al pie y disminuir un 40% los volúmenes percolados. Valores similares se reportan en bibliografía internacional (Raine, 1998; Cuesta et al, 2005; Playan et al 2005; Smith et al, 2009). Con sistemas de riego superficiales tecnificados (riego por pulsos), este valor se incrementaría al 32% y con sistemas de riego presurizados (goteo, microaspersión), llegaríamos a un máximo potencial del 47%.

Los diferentes escenarios de optimización muestran que mejorando la práctica de manejo del riego con poca o ninguna inversión en el método de riego, la eficiencia de aplicación puede incrementarse un 26% para métodos de riego con desagüe al pie y en un 20% para métodos sin de desagüe. Raine et al (1998) obtienen valores similares para regiones de Queensland-Australia, determinando que si los parámetros de manejo son optimizados para cada evento de riego a lo largo del ciclo de cada cultivo, se simularía un control del riego en tiempo real, incrementando aún más las eficiencias de aplicación (20 a 30% por encima de las optimizadas con los valores promedios), sin afectar la calidad de las eficiencias de almacenaje.

Es importante destacar que al analizar las eficiencias de aplicación potenciales según balance salino factibles de alcanzar, para distintos niveles productivos según diferentes autores (Maas y Hoffman, 1977; Nijensohn y Vallone, 2002), las mismas sólo se ven limitadas por las eficiencias de distribución. Ello muestra la excelente calidad de agua y salinidad de suelos que garantizarían en la zona bajo estudio el 100% de la productividad para los cultivos bajo riego.

El principal problema encontrado en la operación de los métodos de riego para la zona bajo estudio es el excesivo tiempo de aplicación o corte. Para cada zona de manejo los problemas secundarios en la operación del método de riego son:

- a) zona norte: bajos caudales unitarios
- b) zona centro norte: deficiente nivelación
- c) zona centro sur: excesivos caudales unitarios
- d) zona sur: deficiente nivelación.

Se estima que la eficiencia de aplicación potencial real o factible de manejo a campo puede tomar valores del 55-60%. Los valores potenciales no se logran, ya sea por falencias



propias de la técnica de riego del agricultor o por una inadecuada oportunidad de riego (falta de coordinación con el sistema de turnados de entrega del agua a los usuarios).

La eficiencia potencial factible de alcanzar cambiando el método de riego a sistemas de riego presurizados, considerando la situación más pesimista de operación y mantenimiento del equipo de riego, sería aproximadamente del 85%. La eficiencia de aplicación potencial considerando el balance salino del suelo es del 90%, próxima a la eficiencia potencial de los métodos de riego presurizados.

Los modelos de simulación utilizados resultaron de utilidad para optimizar las evaluaciones de riego realizadas a campo en cada caso en particular, como así también para el planteo de diferentes escenarios de optimización, que permitirían sistemáticamente mejorar el diseño y la operación de los métodos de riego, pudiendo ser usados en el manejo del riego en tiempo real (Losada Villasante y Roldan Cañas, 2009). El valor agregado producido en los resultados, se sitúa en el hecho de que, con sólo una mirada sobre los gráficos obtenidos en los diferentes escenarios de optimización, se puede evaluar la respuesta del sistema en términos de indicadores de desempeño (Feyen, Jan y Zerihum, Dawit, 1999), de forma tal que permiten seleccionar la táctica y estrategia del manejo del riego por superficie según el objetivo productivo y recursos disponibles, transformándose en herramientas útiles para la planificación y gestión de la operación de los métodos de riego por superficie.

Estos resultados nos alientan a esperar cambios cuali-cuantitativos en las prácticas específicas de manejo del riego, que conduzcan a un desarrollo respetuoso con el medio ambiente. Los mismos contribuyen a generar un espacio interdisciplinar e interinstitucional de trabajo, donde se coordinan y articulan acciones entre sectores públicos y privados con capacidades complementarias, para investigar, implementar y/o adaptar tecnologías agrícolas de manejo en los oasis de regadíos de Cuyo (AECID, 2009).

*Proyecto financiado por el INTA (Proyecto PE AERN1614), INA, DGI, UNCuyo y vinculado a la Convocatoria de Ayudas para Programas de Cooperación Interuniversitaria e Investigación Científica, AECID: C/027998/09.*

## **BILBIOGRAFÍA**

**Aecid** (2009). *Inclusión de variables ambientales en la toma de decisiones del sector agrario en la región de Cuyo, Argentina*. C/027998/09, Programas de cooperación interuniversitaria e investigación científica. España.

**ASAE, Standars** (2000). *Evaluation of irrigation furrows*. America Society of Agricultural Engineering EP419.1. USA, p893 – 898.

**Bautista E., Clemmens A.J., Strelkoff T.S., Niblack M.** (2009a). *Analysis of surface irrigation systems with WinSRFR—Example application*. Agricultural Water Management 96 (2009) 1162–1169.

**Bautista E., Clemmens A.J., Strelkoff T.S., Schlegel J.** (2009b). *Modern analysis of surface irrigation systems with WinSRFR*. Agricultural Water Management 96 (2009) 1146–1154 .

**Burt, C.M.; Clemmens, A.J.; Strelkoff, T.S.; Solomon, K.H.; Bliesner, R.D.; Hardy, L.A.; Howell, T.A.; and Eisenhauer, D.E.** (1997). *Irrigation performance measures: Efficiency and uniformity*. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 123(6):423-442.

**Cuesta T., Neira X., Alvarez C., Cancela J.** (2004). *Evaluation of water-use in traditional irrigation. An application to the lemos Valley irrigation district, northwest of Spain*. Agricultural water Management 75 137-151.

**DGI** (2004). *Plan Director De Ordenamiento de Recursos Hídricos de la Cuenca del Río Tunuyán*. Gobierno de Mendoza, Departamento General de Irrigación, Proyecto PNUD-FAO/ARG/00/08. 119 p.

**Feyen, Jan y Zerihum, Dawit** (1999). *Assessment of the performance of border and furrow irrigation systems and the relationship between performance indicators and system variables*. Agricultural Water Management 40 (1999) 353-362.

**Hsiao, T. C.; Steduto, P.; Fereres, E.** (2007). *A systematic quantitative approach to improve water use efficiency in agriculture*. Journal of Irrigation Science 2007 25:209-231.

**INDEC.** (2002). *Censo Nacional Agropecuario 2002*. Resultados para el total del país por provincia [en línea]. Buenos Aires, Argentina, Instituto Nacional de Estadísticas y Censos de la Republica Argentina. [<http://www.indec.mecon.gov.ar>], [Consulta: 10 de febrero de 2006]

**Jurriens M., Zerihum D., Boontra J, and Feyen J.** (2001). *Surface irrigation Software. Design, operation and evaluation of basin, border and furrow irrigation with SURDEV computer package*. ILRI publication. Wageningen, The Netherlands.

**Losada Villasante, A.; Roldan Cañas, J.** (2009). *Riego por Superficie*. Apuntes de curso de posgrado de Maestría en Riego y Drenaje. Universidad Nacional de Cuyo, Facultad de Ciencias Agrarias. Mendoza del 30 de marzo al 3 de abril de 2009. 143 p.

**Maas, E. V. Y Hoffman, G. J.** (1977). *Crop salt tolerance-current assessment*. J. Irrig. Drain. ASCE 103:115-134.

**Morabito J.** (2003). *Desempeño del riego por superficie en el área de riego del río Mendoza. Eficiencia actual y Potencial*. Universidad Nacional de Cuyo – Facultad de Ciencias Agrarias. Tesis de Maestría. 91 p.

**Nijensohn, L.; Vallone, R.** (2002). *Guía de orientación para regantes de zonas áridas. Con énfasis en el manejo del agua en áreas salinas*. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina.

**Playán, E.; Lecina, S.; Isidoro, D.; Dechmi, F.; Causapé, J.; Faci, J.M.** (2005). *Irrigation evaluation and simulation at the Irrigation District V of Bardenas (Spain)*. Agricultural Water Management 73 (2005) 223-245.

**Raine, S. R; McClymont, D. J.; Smith R. J.** (1998). *The Effect of Variable Infiltration on Design and Management Guidelines for Surface Irrigation*. National Centre for Engineering in Agriculture, The University of Southern Queensland, Qld 4350, Australia.

**Salatino, S; Bagini, R.; Satlari, G; Morábito, J.** (1992). *“Parámetros y eficiencia de riego en el área de influencia del Arroyo Claro en Tunuyán, Mendoza”*. Instituto Nacional del Agua, Departamento General de Irrigación e Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.

**Schilardi, C; Morábito, J; Vallone, R.** (2009a). *Parámetros físicos del riego por superficie en el área de regadío de la cuenca del río Tunuyán Superior, Mendoza – Argentina*. XXI Congreso Nacional del Agua, 14 al 16 de noviembre, Trelew, Chubut.

**Schilardi, C; Morábito, J; Vallone, R.** (2009b). *Surface irrigation performance in the upper Tunuyán River, Mendoza Argetnina*. VI Simposio Internacional de Riego en Frutales y Hortalizas, 2 al 6 de noviembre, Viña del Mar, Chile.

**Smith, R. J.; Gillies, M. H.; Shanahan, M; Campbell, B Y Williamson, B.** (2009). *Evaluating the Performance of Bay Irrigation in the GMID*. Irrigation and Drainage conference 2009, Irrigation Australia Ltd, Swan Hill, Vic, Australia, 18 -21 Oct 2009.

**USDA** (2009). *WinSRFR 3.1 User Manual*. U.S Department of Agriculture, Agricultural Research Service. Arid Land Agricultural Research Center. 193 p.

**Van Der Molen, W.H.** (1983). “*Salt balance and leaching requirement*”. In “*Drainage Principles and Applications: II Theories of field drainage and watershed runoff*”. Publication 16 – Vol. II. Pág. 59 – 100. International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI). The Netherlands.

**Walker, R.** (2003). “*Simulación, diseño y evaluación de riego por superficie. Guía del curso y documentación técnica*”. Utah State University. Logan, Utah, USA. 63 p.