

El desempeño del uso agrícola del agua en los oasis de los ríos Mendoza y Tunuyán a través de nuevos indicadores

José A. Morábito¹⁻², Santa Salatino¹ y Carlos Schilardi²⁻³

- (1) Investigador en Riego y Drenaje, INA-CRA jmorabito@ina.gov.ar
- (2) Docente e investigador de la Facultad de Ciencias Agrarias de la UNCuyo
- (3) Ing. Agr. Ms. Sc. - Departamento General de Irrigación (DGI)- Mendoza

RESUMEN

Modernamente la preocupación por la preservación -en cantidad y calidad- de los recursos naturales renovables y más precisamente del agua continúa siendo prioritaria para las zonas áridas y semiáridas, tal el caso de los oasis regadíos de Mendoza. Basado en anteriores resultados producto de la determinación a campo de los parámetros de eficiencia, el presente trabajo pretende analizar las definiciones tradicionales de eficiencia de riego, someterlas a revisión y enriquecerlas con una moderna visión que introduce en sus distintas definiciones nuevos conceptos y relaciones diferenciando los usos beneficiosos y no beneficiosos, racionales y no racionales del agua destinada a riego agrícola. Este enfoque, más integral, hace posible albergar una mejor representación del papel que la agricultura juega como principal demandante del recurso agua, siempre en el marco de la sostenibilidad. De la comparación de los parámetros representativos de la eficiencia de riego calculados en forma tradicional con los introducidos modernamente por Burt et al (1997) entre otros, surge que con esta última metodología en el Oasis Norte de Mendoza (áreas de influencia de los ríos Mendoza y Tunuyán inferior) se alcanzan valores de eficiencia de riego a nivel de parcela 30 % más altos que los tradicionales. Esto se debe esencialmente a considerar el requerimiento de lixiviación -entre otros- como un uso beneficioso. No sucede lo mismo en el Oasis Centro (área regadía del río Tunuyán superior), en el que los valores medios de eficiencia de riego parcelaria también se incrementan, pero en menor medida ya que, como consecuencia de una mejor calidad natural del agua de riego, el requerimiento de lixiviación es apenas del 10 %. Los nuevos indicadores obtenidos bajo el enfoque de esta metodología permiten una valoración más real del uso del agua a nivel de proyecto de riego o cuenca.

Palabras clave: eficiencia, rendimiento de riego, usos benéficos y no benéficos del agua

Introducción

En el año 2008 Argentina había incrementado su superficie regada a 2,1 millones de hectáreas (Zappi, 2012). Previamente, para el INDEC (2002) Mendoza era la provincia con mayor superficie regada del país (267.889 ha). De todos los usos y usuarios del recurso hídrico la agricultura representa la mayor demanda, cada vez más disputada por los usos: urbano (*agua potable y saneamiento*), industrial, recreativo y ambiental. Más aún, esa mayor demanda no exige sólo cantidad (equidad en la distribución) sino también -y muy especialmente- calidad. Al respecto, para los investigadores del Programa de Riego y Drenaje del Centro Regional Andino del INA el diagnóstico y la evaluación del desempeño en el uso del agua -a nivel zonal y parcelario- en los distintos métodos de riego constituye una de sus principales líneas de acción, desde mediados de

los años 70 hasta la fecha. A lo largo de ese tiempo las metodologías utilizadas han ido adaptándose a la evolución del conocimiento en el tema y al desarrollo tecnológico. Así, en los comienzos, utilizando el cociente de láminas, se definieron eficiencias de uso externo (propias del sistema de conducción desde el origen -dique derivador- hasta bocatoma de propiedad) y eficiencias parcelarias (conducción interna, distribución y aplicación) en las áreas de influencia de los ríos Tunuyán medio e inferior y Mendoza. El objetivo final de esta parametrización fue un intento de modelización del uso conjunto del agua para riego en la cuenca del río Tunuyán inferior, en colaboración con especialistas del IILA de Italia (Chambouleyron et al., 1982 y Menenti et al., 1992). La metodología local (conceptos, simbología y notación de cada parámetro) desarrollada por los mencionados autores tuvo una rápida difusión en numerosos foros nacionales e internacionales. A fines de los 80's y comienzos de los 90's, referentes del tema (Manor, Pereira, Willardson, Molden, Bos, entre otros) comienzan a hablar de indicadores de desempeño (*performance indicators*). En 1991 se organizó en la ciudad de Mendoza un seminario internacional en el que se discutieron varios indicadores y se presentaron a la consideración de los especialistas los valores obtenidos para nuestras zonas áridas (Chambouleyron et al., 1993). A comienzos del siglo XXI, Morábito y colaboradores (2005) -por pedido del Gobierno provincial- llevaron a cabo un diagnóstico del desempeño en el aprovechamiento del agua en la cuenca del río Mendoza, a modo de actividad complementaria a la construcción de la presa de regulación (Dique Potrerillos). En el presente trabajo se intenta analizar los resultados de distintas evaluaciones a campo llevadas a cabo a lo largo del tiempo (Chambouleyron y colaboradores., 1991; Morábito y colaboradores., 2005 y 2007; Schilardi et al., 2011 y Tozzí et al., 2011), a la luz de las nuevas visiones integradoras y conservacionistas.

Antecedentes

. Las definiciones de eficiencia y su evolución en el tiempo

Desde Israelsen (1965) hasta Jensen (2007) la eficiencia de riego (IE, *irrigation efficiency*) se define como *el cociente entre el volumen de agua usada beneficiosamente y el volumen total de agua aplicada*. Esta definición hace foco en la cantidad de agua derivada de una determinada fuente destinada a asegurar usos beneficiosos y alcanza tanto a lo referido a agua consumida por el cultivo como -más modernamente- a lo requerido para satisfacer necesidades agronómicas como el requerimiento de lixiviación (lavado de sales)(Burt et al, 1997). El concepto de IE proporciona una medida del funcionamiento general del riego y el obtener altas eficiencias constituye un permanente desafío para el productor. Los indicadores de desempeño son las herramientas de utilidad encontradas por los investigadores para mejorar una baja performance en el uso del recurso. La definición de IE involucra a las eficiencias de conducción (E_c) y de aplicación (E_{ap}) pero esto no es tan así cuando el agua cambia de objeto a sujeto de transformación al pasar de la red de canales de riego (sistema) a la propiedad del agricultor (parcela). Aquí el término IE se “contamina” con un indicador *de eficacia* que introduce algunas complicaciones conceptuales. Mientras que para Perry (2007) lo general del uso entre el término *eficiencia de riego* (IE) y su terminología asociada “*pérdidas de agua*” puede dar una falsa idea de agua “desperdiciada”, para van Halsema y Vincent (2011) la IE está definida desde la perspectiva del propietario: la asignación del agua pertenece al sistema de riego y IE mide qué tan bien el sistema maneja/usa el agua, es capaz de conducirla sin desperdiciarla (componente de

eficiencia) y la convierte en un uso productivo (componente de eficacia). Por lo tanto, desde el punto de vista del agricultor, el agua que sale del manejo del sistema (dominio de la ingeniería) es considerada una pérdida. Sin embargo, desde la mirada de los responsables de la gestión, las recomendaciones apuntan a una planificación de las diversas nociones y valores de eficiencia de uso del agua (*water use efficiency, WUE*) y de los factores de productividad (*water productivity, WP*) a nivel de cuenca. Esto hace posible identificar oportunidades y potenciales conflictos en el cambio de los usos del agua, incluye también la perspectiva del “propietario” y permite conocer qué valores atribuir al numerador (*producción, i.e. kg*) y al denominador (*uso del agua, i.e. m³*) del cociente que define la productividad del agua:

$$WP = \text{producto} / \text{agua consumida} = (\text{evapo})\text{transpirada} \text{ (kg m}^{-3}\text{) y}$$

$$WUE = \text{producto} / (\text{agua aplicada o agua disponible (kg m}^{-3} \text{ ó kg kg}^{-1}\text{)})$$

La WP es un indicador fisiológico ya que representa la capacidad productiva de un cultivo (o de un sistema) por unidad de agua (evapo)transpirada. La WUE calculada de esta manera es un parámetro que representa la eficiencia de utilización del agua a nivel de propiedad / parcela con todas las limitaciones propias de una IE e ilustra sobre la necesidad de maximizar la producción por unidad de agua aplicada (de Fraiture and Wichelns, 2010; Molden et al., 2010). Si bien parece ser una medida de la productividad del agua suministrada es, en realidad, una medida de la eficiencia con que se está usando el agua en la parcela (bajos valores de WUE proporcionan una falsa sensación de “derroche”). Sin embargo, el principal problema que se presenta con el uso generalizado del término WUE es la imprecisa interpretación y lo aleatorio de los diferentes componentes del balance hídrico (cf Bluemling et al, 2007; Perry, 2007) que la hacen poco confiable. Algunos autores han definido a la WUE como cociente entre producción y evapotranspiración, obteniendo esta última de un balance hídrico impreciso y asumiendo que se iguala a la sumatoria Σ (*riego + lluvia - cambios estacionales en el almacenaje de humedad del suelo*). Significa que, a nivel de campo, se consideró al riego/s y a toda la lluvia como efectivamente almacenados en la zona radical y contabilizados en la evapotranspiración y en los cambios de contenido de humedad del suelo. Sin embargo, falta contabilizar aquí el valor del escurrimiento y/o de la percolación profunda (del riego y de la lluvia), lo que puede conducir a una grosera sobreestimación de la evapotranspiración real -cuando estos efectos estén erróneamente incluidos en las mediciones periódicas de los cambios de contenido de humedad del suelo- (Oktem et al, 2003; Kamilov et al, 2002). Según van Halsema (*en turno para publicación*) en 22 de 24 publicaciones se dan valores de WUE que corresponden a mediciones brutas de eficiencia del uso del agua en las que no se contabiliza qué fracción del agua aplicada es realmente utilizada en la evapotranspiración y en la producción. Para evitar confusiones y una inapropiada comparación de valores van Halsema and Vincent (2011) aconsejan reservar el uso del concepto *productividad del agua* (WP) como una medida de la productividad de los procesos fisiológicos que ocurren en el cultivo destinados a la producción de biomasa (y/o rendimiento) relacionada con el consumo real de agua: $WP = (\text{kg producto}) / (\text{ETa})$, expresión en la que el valor de ETa esté contabilizado con precisión. Para Pereira (2012), el uso del agua es más eficiente cuando se maximizan los usos benéficos, se incrementa su productividad y se minimizan las pérdidas y/o la contaminación. Esto no significa que -cuando se hace un uso más eficiente del agua- se consuma una menor cantidad ya que maximizar los usos beneficiosos y la productividad del agua y de la

tierra utilizando la tecnología (por ejemplo en la reducción de pérdidas o de la contaminación del agua), puede dar al cultivo la oportunidad de una mayor evapotranspiración. (Ahmad et al. 2007). El término uso eficiente del agua está pensado como un sinónimo de uso racional o sustentable.

Modernamente -y en el marco de un determinado proyecto de áreas regadías- se ha mejorado la comprensión de los efectos hidrológicos mediante la definición de “*fracciones*”. Entre los autores que proponen este término en reemplazo del de *eficiencia* puede citarse a Jensen (1993), Willardson et al (1994), Allen et al (1996,1997), Molden (1997) y Molden y Sakthivadivel (1999). Utilizando el término “fracción” para describir el uso del agua, se está dando una perspectiva apropiada sobre lo que está pasando con el recurso hídrico debido a la intervención antropogénica. En 1993, Jensen discutió la necesidad de un cambio en la descripción en que el agua era utilizada, abogando por alejarse del término *eficiencia*. Para dicho autor el concepto *fracción de agua* en lugar del de *eficiencia*, mejora la descripción física y/o la evaluación de la gestión del agua y elimina fuentes de error. También para Willardson (1994) el término *pérdidas de riego*, aplicado a toda el agua que no se evapora o transpire, debe ser abandonado y reemplazado por el término *fracción*, más correcto y descriptivo. Toda agua suministrada para riego que retorne a la fuente en condiciones de reuso debe ser denominada “*retornos de riego*” o “*fracción reusable*” y no ser considerada una “pérdida” (los retornos de riego incluyen componentes como los escurrimientos superficiales y la percolación profunda).

. Fracciones de riego

Si se usan las fracciones apropiadas podrá identificarse tanto los efectos negativos como los positivos para todos los usos (Willardson et al., 1994). Las fracciones son usadas en muchas aplicaciones para describir qué proporción de una determinada cantidad está siendo aplicada a un uso particular:

Fracción evaporada (EF): es la fracción de una derivación de riego que es consumida a través de la evaporación o de la evapotranspiración

$$EF = Q_{Et} / Q_{Div}$$

En esta fórmula Q_{Et} es igual a la cantidad derivada consuntivamente evaporada (o transpirada) en procesos de uso del agua (por ejemplo, en el riego) y Q_{Div} es el agua totalmente derivada para procesos específicos. Además de la ET de campos naturales y cultivados, Q_{Et} incluye la evaporación que ocurre desde estanques, canales, reservorios y filtros así como el agua evaporada por la vegetación riparia y los humedales (creados por escurrimientos superficiales y retornos de caudal). El término EF es conceptualmente similar al del coeficiente de uso consuntivo del riego, término introducido por Jensen (1993).

Fracción no reusable (NRF): se define como la fracción de una cantidad de agua derivada que no se evapora y no está mucho tiempo disponible para su reuso por otros usuarios debido a su ingreso en un sistema salino (océano, cuerpo de agua o acuífero salinos) o a la degradación de su calidad hasta un punto que la hace económicamente no reusable.

$$NRF = Q_{NR} / Q_{DIV}$$

En esta expresión Q_{NR} es igual a la cantidad de agua derivada que permanece en forma líquida pero como ya se dijo es no recuperable. Otra de las razones por las que no pueda reusarse -más allá de la limitación económica- es que sus características físicas la hagan no recuperable.

Fracción consumida (CF): se define como la fracción consumida de una derivación, no largamente disponible para ningún otro uso durante un período de tiempo futuro. La fracción consumida incluye a las fracciones *evaporada* y *no reusable* (toda el agua que sale fuera -se exporta- de la cuenca).

$$CF = (Q_{Et} + Q_{NR} + Q_{EXP}) / Q_{DIV} \approx EF + NRF$$

En esta expresión Q_{EXP} es igual al agua que es exportada hacia el exterior de la cuenca hidrológica (i.e. el agua contenida en la fruta fresca que se transporte fuera de la cuenca, el agua contenida en una determinada bebida -incluso agua mineral- asumiendo que no será consumida dentro de la cuenca). Según Willardson et al. (1994) se ha acordado que, en general, el aumento de la fracción consumida de una determinada entrega/derivación de agua y la consiguiente reducción en la fracción reusable, tiene ciertos beneficios. Éstos incluyen una potencial reducción del lavado de nutrientes de la zona radical, reducción del anegamiento, menores requerimientos de drenaje, reducción del consumo energético, reducción de la capacidad de los sistemas de conducción, aumento de caudales durante el período de riego y la posibilidad de aumentar la superficie regadía por unidad de agua derivada. Sin embargo, ninguno de estos beneficios incluye una reducción de las pérdidas de agua. Los efectos de un aumento de la CF de las derivaciones para riego deberán tener en cuenta los impactos sobre los humedales creados por sistemas de riego con históricamente bajas CF.

Fracción reusable (RF): representa la fracción del agua derivada que retorna a las fuentes para un posterior reuso:

$$RF = Q_{RF} / Q_{Div}$$

Donde Q_{RF} es la cantidad de agua derivada que es reusable por otros usuarios y reingresa naturalmente al sistema de agua dulce. Emplear los términos *fracción consumida*, *fracción reusable* y *fracción no reusable* posibilitará una mejor consideración de los efectos sobre todos los usos dentro de un mismo sistema hidrológico y -también- sobre los efectos de la fracción retornable de agua a las fuentes (río o acuífero). Para modelar, combinando y cuantificando todas las fracciones de uso será necesario entender -para todos los posibles usos del agua- los efectos a corto y largo plazo. Para aplicaciones a gran escala se hace necesaria una más completa definición de CF, llamada *fracción consumida a nivel de proyecto* y es:

$$CF_{proj} = (Q_{Et} + Q_{NR-proj}) / Q_{Div}$$

donde $Q_{NR-proj}$ representa toda el agua “no reusable” que no vuelve a la fuente en condiciones de recuperabilidad e incluye aguas derivadas -junto con otras- al océano, cuerpos salobres de agua o de lagunas de evaporación y/o evaporadas de canales, reservorios, etc. $Q_{NR-proj}$ debería ser cargada al proyecto como agua consumida a pesar

de ser *no recuperable o no reusable* como resultado directo de un uso particular (Willardson et al, 1994).

Burt et al. (1997) discuten y pretenden clarificar el uso de la terminología referida al aprovechamiento del agua de riego con fines agrícolas. Resumen los componentes del balance hídrico como resultantes de los flujos de agua que lo afectan: flujo superficial (entrante y saliente), lluvia, flujo subsuperficial (entrante y saliente), evaporación, transpiración, agua que forma parte de los distintos tejidos del cultivo analizado, evaporación del agua libre desde canales, transpiración de plantas freatófitas y evaporación de agua desde el suelo. Definen entonces “**usos consuntivos**” como el agua irrecuperable y consumida (la evaporación, la transpiración y el agua contenida en los tejidos de los cultivos) en contraposición con el concepto de “**usos no consuntivos**” que constituyen el agua que deja el área considerada, esencialmente por escurrimiento superficial (ES) y percolación profunda (PP). Realizan consideraciones desde el punto de vista del beneficio obtenido por el agua usada y definen los “**usos benéficos**”. Por ejemplo, el agua usada en la producción de un cultivo (ETc, percolación profunda para contribuir a la lixiviación de sales del perfil del suelo, control de la temperatura de la planta o climático, germinación de la semillas, etc.), el exceso de percolación profunda para control de heladas (con suelo en capacidad de campo), el agua escurrida al pie pero usada para regar otro cuartel o parcela localizada aguas abajo (riego encadenado), el agua almacenada o re-usada/circulada en la parcela o propiedad. Definen también los “**usos no benéficos**” como el exceso de percolación profunda, la evapotranspiración de malezas o freatófitas (a menos que tengan alguna finalidad especial como el control de erosión, el mejoramiento de la estructura del suelo, el ser hábitat de insectos o de fauna beneficiosa, etc.). Los citados autores mencionan también “**usos racionales y no benéficos**”, tal el caso de la percolación profunda por la falta de certeza sobre el cuándo regar o la acumulación de agua escurrida al pie (asegura áreas pantanosas que permiten la vida natural en el ecosistema) y -por último- “**usos no racionales**”: así por ejemplo, desde el punto de vista del manejo regional del agua, el uso agrícola razonable podría no serlo, si los factores climáticos o de suelo de un sitio determinado, no resultan aptos para la siembra de un cultivo dado y de igual manera se lo hace.

Los indicadores más relevantes propuestos por Burt et al. (1997) para evaluar el desempeño de un área regadía se presentan y se discuten a continuación.

Eficiencia de riego (IE %): está referida a una parcela regada, a la propiedad, a todo el proyecto de regadío o a la cuenca. Considera un intervalo de tiempo que puede ser entre dos fechas determinadas o para el período completo de riego y no asume usos benéficos futuros:

$$IE = \frac{\text{vol. de agua de riego beneficiosamente usado}}{\text{vol. de agua de riego aplicada} - \Delta \text{ de agua de riego almacenada}} * 100$$

Coefficiente de uso consuntivo de riego (ICUC %): sus límites van desde la parcela hasta la cuenca, se analiza en un intervalo de tiempo determinado (entre dos riegos) y cuantifica el agua no recuperable o que ha sido usada por la planta (evaporación, transpiración y agua que forma parte de los tejidos del cultivo):

$$ICUC = \frac{\text{vol. de agua de riego usado consuntivamente}}{\text{vol. de agua de riego aplicada} - \Delta \text{ de agua de riego almacenada}} * 100$$

Sagacidad de riego (IS %): se mide a nivel de parcela, proyecto o de cuenca, se calcula entre dos fechas determinadas e incorpora el concepto **de uso razonable y uso benéfico**.

$$IS = \frac{\text{vol. de agua de riego beneficiosamente y/o racionalmente usado}}{\text{vol. de agua de riego aplicada} - \Delta \text{ de agua de riego almacenada}} * 100$$

Uniformidad de distribución (DU %): se mide en la parcela regada (a veces incluso en una unidad muy pequeña), califica un evento de riego y se aplica tanto a la parcela, la propiedad, todo el proyecto de regadío o la cuenca. Considera un intervalo de tiempo que puede ser entre dos fechas determinadas o un período completo de riego y no asume usos benéficos futuros:

$$DU_{iq} = \frac{\text{lámina media del cuarto más perjudicado}}{\text{lámina media acumulada en todos los elementos}} * 100$$

Eficiencia de aplicación (AE %): se mide a nivel de parcela o a una escala menor que aquella; califica un evento de riego y asume que la lámina requerida (*lámina objetivo*) que se pretende reponer es uniforme en toda la parcela a regar y que el agua será usada en forma beneficiosa:

$$AE = \frac{\text{lámina media objetivo de agua de riego}}{\text{lámina media bruta de agua de riego aplicada}} * 100$$

Porcentaje por percolación profunda y por escurrimiento (Pp; Ep %): Walker & Skogerboe (1987) sugieren además otros dos indicadores mencionados anteriormente por Israelsen y Hansen, (1965) que permiten separar la percolación profunda del escurrimiento al pie.

$$Pp = \frac{\text{Volumen de agua percolado}}{\text{volumen de agua aplicado}} * 100$$

$$Ep = \frac{\text{Volumen de agua escurrido}}{\text{volumen de agua aplicado}} * 100$$

Eficiencia de aplicación potencial (PAE_{iq}): la unidad de análisis es la parcela u otra de menor tamaño, califica un evento de riego y estima la máxima AE, considerando que el tiempo de riego, el caudal y la DU han sido adecuadas. Considera las pérdidas no recuperables (evaporación y escurrimiento).

$$PAE_{iq} = \frac{\text{lámina media objetivo de agua de riego}}{\text{lámina media de riego aplicada que asegure } d_{iq} \text{ sea alcanzada}} * 100$$

Se puede afirmar que:

$$PAE_{iq} \approx DU_{iq} * (100 - \% \text{ de escurrimiento pie}) \text{ y que}$$

Lámina bruta a aplicar \approx lámina objetivo a reponer * (100 / PAE_{lq})

Adecuación de riego (AD) o adecuación del cuarto más perjudicado: relación que se calcula a nivel de parcela o unidad menor, califica un evento de riego y asume que la lámina requerida (objetivo) es uniforme en toda la parcela a regar. Estima si el riego ha sido insuficiente, adecuado o exagerado:

$$AD_{lq} = \frac{\text{lámina media infiltrada en el cuarto más perjudicado}}{\text{lámina requerida}} * 100 = \frac{d_{lq}}{d_{req}} * 100$$

Eficiencia de almacenaje o storage efficiency (SE=EAL): fue definida como la relación entre la lámina almacenada en el perfil -después del riego- respecto de la lámina necesaria que se esperaba almacenar o almacenable. Expresa el grado de suficiencia del riego, evaluado en la capa de suelo que exploran las raíces (mencionado por Grassi, 1998).

$$EAL = \frac{\text{Volumen de agua infiltrada y almacenada}}{\text{Volumen de agua requerida (o almacenable)}} * 100$$

. Caracterización de la zona bajo estudio

El área de estudio del presente trabajo corresponde a los Oasis Norte y Centro de la provincia de Mendoza (figura 1), áreas regadías de los ríos Mendoza, Tunuyán inferior y Tunuyán superior, respectivamente. El Oasis Norte (2.700 km²) está emplazado en el centro-oeste de Argentina, entre las latitudes 32° 30' - 33° 50' S y las longitudes 67° 50' - 69° 30' O, a lo largo del costado oriental de la cordillera de Los Andes y a sotavento de la misma, correspondiendo a la franja árida del país (con un promedio anual de precipitación de 200 mm). En el pedemonte y la llanura del mismo predominan las condiciones de aridez mientras que -por el contrario- en la zona cordillerana, se registra un balance hídrico positivo, constituyéndose en la única fuente de suministro de agua, a través de los flujos superficiales y subterráneos que escurren hacia las zonas habitadas (ubicadas en los sectores más bajos de la cuenca). Desde el punto de vista estructural el Oasis Norte está sistematizado en dos áreas, cuyo suministro hídrico depende de dos sistemas hidrológicos distintos provenientes de los ríos Mendoza y Tunuyán. En ambas zonas el recurso hídrico representa la base del desarrollo económico provincial.

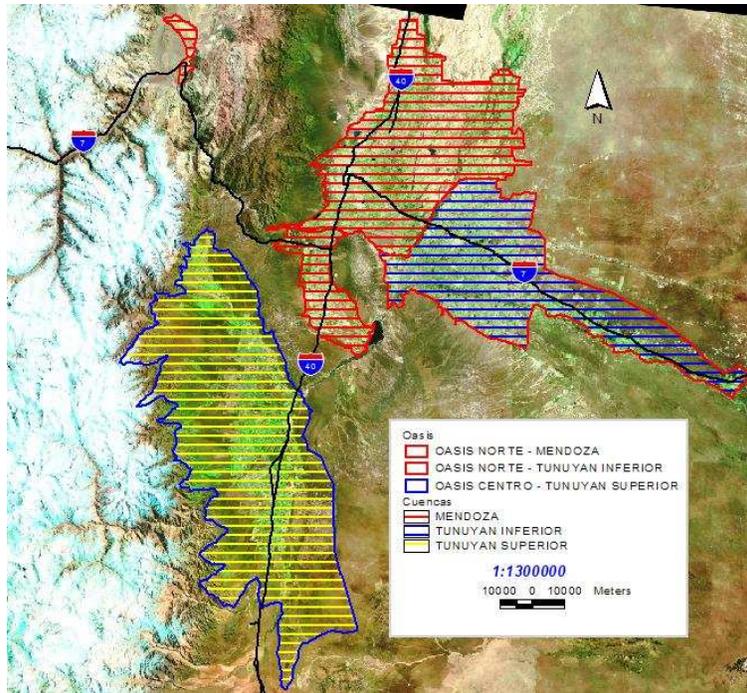


Figura 1: imagen satelital de los oasis regadios Norte y Centro de la provincia de Mendoza

El área de regadío del río Mendoza es -sin dudas- la más importante de la provincia y sobre ella está asentada gran parte de la población provincial. Cuenta con una superficie cultivada de 89.000 ha (Departamento General de Irrigación, 2004) con un gran desarrollo industrial y con actividades que involucran a los distintos usos del agua (doméstico, agrícola, industrial, recreativo y energético). El uso agrícola representa el 89% del total (Fasciolo G., 2011). En el año 2002 comenzó a funcionar el dique de embalse Potrerillos construída para regular el río y contribuir al mejor aprovechamiento del agua. La zona presenta suelos aluviales, donde se observan capas intercaladas de diferentes texturas, siendo *franco limosa*, *franca* y *franco arenosa* las más frecuentes. Las velocidades de infiltración representativas de las series de suelos son bajas, con valores extremos de infiltración básica de 1,3 y 7,3 mm/h. La salinidad del suelo en la rizósfera presenta valores medios de 2,2 dS.m⁻¹, con valores extremos de 1,8 dS.m⁻¹ y 3,8 dS.m⁻¹ en las zonas altas y bajas de la cuenca. El agua de riego posee una conductividad eléctrica de 0,92 dS.m⁻¹ y en las partes bajas -donde se mezcla con agua de drenaje y, además, recibe el impacto de las áreas urbanas- sube a 1,6 dS.m⁻¹ (Morábito et al., 2007).

La agricultura de la cuenca del río Tunuyán inferior, es predominantemente vitícola (más del 70 % de las 86.500 ha con derecho de riego distribuídas en 14.931 propiedades) y la más extensa de la provincia. La fruticultura ocupa el segundo lugar. El uso eficiente del agua es clave para el desarrollo económico y social. El área tuvo su expansión en la década del 70, con variedades de alta producción y elevado requerimiento hídrico. A partir de la década de los 90, como consecuencia de mejores precios de las variedades finas y de cambios en los hábitos de consumo, se iniciaron recambios varietales orientados hacia variedades tintas. El riego por escurrimiento superficial es el método predominante (melgas o surcos, sin desagüe y sin pendiente). Chambouleyron y otros (1975) realizaron la clasificación utilitaria de suelos siguiendo las normas del U.S. Bureau of Reclamation identificando tres categorías arables y una

no arable, con capas estratificadas y texturas predominantes que van de franca a arenosa. La salinidad del suelo en la rizósfera presenta valores medios de $2,6 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ con una desviación estándar de $1,6 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ y el agua de riego posee -en cabecera del sistema- una conductividad eléctrica de $1,31 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ (desviación estándar de $0,13 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$) (Tozzi et al., 2011).

El área de regadío de la cuenca del río Tunuyán superior cuenta con una superficie de 51.484 ha con derechos de riego superficial (DGI, 2004) y está situada a $33^{\circ} 34'$ de latitud Sur y $69^{\circ} 00'$ de longitud Oeste. En ella predomina el método de riego por surcos con pendiente (0,87 %) y desagüe al pie. La textura de suelo más frecuente es la franco arenosa (con una infiltración básica de $5,3 \text{ mm h}^{-1}$). La salinidad en el primer metro de suelo es de $1,12 \text{ dS m}^{-1}$ y la del agua de riego de $0,70 \text{ dS m}^{-1}$ y suelos. (Schilardi et al., 2011).

Localmente existen numerosos estudios sobre el desempeño del riego a nivel zonal en el Oasis Norte de la provincia de Mendoza referidos fundamentalmente al método de riego predominante (escurrimiento superficial: surcos y melgas con y sin pendiente y con y sin desagüe al pie). Chambouleyron y colaboradores (1982), utilizando para su definición cocientes entre láminas, obtuvieron para las áreas regadías de los ríos Mendoza y Tunuyán inferior, valores globales y parcelarios de eficiencia. Sobre la base de dichos estudios y en función de las recomendaciones de la ICID se definieron los siguientes indicadores: eficiencia de aplicación (ea); eficiencia de distribución en la red de canales menores (ed), eficiencia de la unidad terciaria (eu), eficiencia de conducción en los canales mayores (ec), eficiencia rio-dique derivador (ecr), eficiencia del sistema de riego (es) y eficiencia global o del proyecto (ep) (Morábito & Chambouleyron, 1990), (Tabla 1).

Morábito et al. (2005), llevaron a cabo en el área de riego del río Mendoza 101 evaluaciones de desempeño en explotaciones agrícolas regadas por escurrimiento superficial, seleccionadas en forma aleatoria. El estudio estima -además- la *eficiencia de aplicación potencial* cuyos valores se comparan con los de la eficiencia de aplicación actual. Para la estimación del valor de la eficiencia de aplicación potencial (EAPp) se utilizaron dos metodologías:

La primera, simulada con el modelo SIRMOD (Walker, 1993) en función del manejo del método de riego (EAP_M) y la otra, considerando el balance salino del suelo (EAP_S) a través del requerimiento de lixiviación. La eficiencia de aplicación actual (EAP) media del área fue del 59 %. y el valor medio de la eficiencia de riego potencial (EAPp) fue 79 %. Si se fijara como objetivo una pérdida de producción del 10 % debida a la salinidad edáfica, la EAP_S_{90} bajaría al 76 %.

Tabla 1: Indicadores de desempeño del riego en áreas regadías del Oasis Norte de Mendoza (INA – CRA e ICID) (según Morábito y Chambouleyron, 1990)

Nomenclatura ICID	Nomenclatura INA-CRA	Áreas regadías	
		río Mendoza	río Tunuyán inferior
Eficiencia de aplicación ea (%)	EAP	62	67
Eficiencia de distribución ed (%)	ECI*EPH	77	83
Eficiencia de la unidad terciaria eu (%)	EAP*ECI*EPH	48	55
Eficiencia de conducción ec (%)	EHR*ERC	59	74
Eficiencia río dique derivador ecr (%)	ERD	-	95
Eficiencia del sistema de riego es (%)	ECI*EPH*EHR*ERC	46	61
eficiencia global o del proyecto ep (%)	EAP*ECI*EPH*EHR*ERC	28	41

Schilardi et al. (2011) en un estudio realizado en 48 propiedades localizadas en la cuenca del río Tunuyán Superior (51.500 ha) califica a la eficiencia de aplicación en finca como “baja” (39 %) y obtiene valores de eficiencias de conducción interna en propiedad, aplicación, almacenaje y distribución de 91%, 43 %, 99 % y 91%, respectivamente. La eficiencia de aplicación potencial que podría esperarse mejorando el manejo del riego en finca sería del 68 % y, considerando el balance salino del suelo, del 90 %.

Tozzi et al. (2012) en un estudio similar realizado en la cuenca del río Tunuyán inferior (86.500 ha) sobre 108 propiedades evaluadas califica a la eficiencia de aplicación como “media” (66 %), encontrando valores de eficiencias de conducción interna, aplicación, almacenaje y distribución del 91 %, 66 %, 95 % y 94 % respectivamente. La eficiencia de aplicación potencial a alcanzar en la zona, mejorando el manejo del riego en finca sería del 86 % y -considerando el balance salino en la zona de exploración radical- del 81 %.

En lo que se refiere al riego presurizado localizado, Fontela y otros (2009) al evaluar la uniformidad del riego por goteo en las zonas de regadío de las cuencas de los ríos Mendoza y Tunuyán (zonas Alta y Baja) determinaron a campo el coeficiente de uniformidad. El estudio señala que el 18 % de las unidades de riego evaluadas presentó un coeficiente de uniformidad por debajo del rango recomendable y que el 82 % restante una *buena uniformidad*. Dentro de ese porcentaje un 25 % pertenece al rango recomendado y un 57 % sobrepasa esas condiciones con coeficientes de uniformidad que superan al 90 %.

Objetivos:

El presente trabajo pretende analizar las definiciones tradicionales de eficiencia de riego y compararlas con los últimos avances de la bibliografía que introducen nuevos

conceptos y relaciones de *eficiencia, productividad, usos beneficiosos y no beneficiosos, racionales y no racionales* del agua en la agricultura, en un marco de uso sostenible. Los cambios que pudieran surgir en esta nueva valoración de la evaluación del desempeño del manejo del agua de riego servirán para orientar y precisar recomendaciones que contribuyan a acercar a los gestores acertados criterios para lograr el mejor uso y la máxima productividad de cada metro cúbico de tan vital recurso.

Materiales y métodos:

Partiendo de una recopilación de resultados locales de mediciones a campo realizadas durante más de dos décadas (sobre muestreos estadísticamente representativos en más de 200.000 ha cultivadas) por los investigadores del Centro Regional Andino del INA-INTA-UNCuyo-DGI por (Chambouleyron, J., 1991, 1993); Morábito et al., 2003, 2005, 2007; Schilardi et al., 2011 y Tozzi et al., 2011), se calcularon, en base a la metodología propuesta por Burt et al (1997), los nuevos parámetros de desempeño del uso del agua en la zona de estudio. La secuencia de cálculo de indicadores fue la siguiente:

- 1) *Eficiencia de aplicación a nivel de proyecto (EAP)*: obtenida ponderando el valor de la AE = EAP de cada método de riego por la superficie regada por cada uno de ellos, según INDEC (2002). En riego por goteo, la AE (EAP) se aproxima al 82% (Fontela y otros, 2009).
- 2) *Eficiencia de riego parcelaria (IE)*: se obtiene como *cociente entre el agua de riego usada beneficiosamente y el volumen de agua aplicada*, considerando que la variación de agua de riego almacenada en la rizósfera entre el inicio de un ciclo agrícola y el comienzo del próximo se aproxima a “0”.

Se contabiliza como agua beneficiosamente usada: (a) la gastada en el proceso de evapotranspiración, medida como AE (62,6 %; 68,6 %; 51,2 % para el río Mendoza, Tunuyán inferior y Tunuyán superior, respectivamente), (b) la usada para cumplimentar el requerimiento de lixiviación hasta alcanzar la $PAE_{s_{90}}$, según la salinidad del agua de riego, el nivel de salinidad deseable en el suelo que asegura un 90% de la producción máxima ($EAP_{s_{90}} - EAP = 17\%$; 14%; 10% para el río Mendoza, Tunuyán inferior y Tunuyán superior, respectivamente), (c) la contenida en los tejidos vegetales (materia en peso húmedo producida en un año), un volumen muy bajo estimado en 0,2 % (20 m³ de agua por cada 10.000 m³ aplicados), (d) la usada para humedecer el suelo y así poder realizar las labores culturales en la finca, estimada en 50 mm.año⁻¹ calculados sobre una lámina total de aproximadamente 1.000 mm.año⁻¹ (50 mm/1000 mm = 5%) y (e) la fracción de agua re-usada de los escurrimientos de riego con desagüe al pie utilizados por los regantes de aguas abajo dentro de la misma cuenca (estimada en un 2 % para el río Mendoza y en un 4 % para el río Tunuyán Superior). Tal estimación surge de considerar los cálculos obtenidos por Schilardi (2011) según los cuáles considerar el encadenamiento del riego en los métodos con escurrimiento de agua pie, subestimaría la eficiencia de aplicación en un 8%.

- 3) *Índice de sagacidad del riego parcelario (IS)*: propone adicionar al volumen de agua beneficiosamente usado, otros volúmenes utilizados

racionalmente en la producción. A modo de ejemplo se pueden citar los siguientes: (a) para la germinación de semillas y/o para el mantenimiento de la humedad del suelo en el momento del transplante, (b) para el control climático / defensa contra heladas tardías sobre todo en primavera (lámina “extra” de riego para la defensa pasiva / preventiva), (c) para el manteamiento de un caudal mínimo en los drenes, (d) para cubrir la falta de uniformidad del riego y/o la incertidumbre en el requerimiento de lixiviación por medio de la percolación profunda, etc. Se ha estimado con un criterio conservador asignar un incremento del 2,5 % al volumen de agua beneficiosamente usado para cumplir con las exigencias de la germinación de semillas y del control climático, un 5% para la preparación del suelo y un 0,2% como agua cosechada en los tejidos vegetales de los cultivos, despreciando los otros usos.

- 4) *Eficiencia de riego proyecto ($IE_{proyecto}$)*: se ha estimado un porcentaje de mejora en el tránsito del agua desde el dique hasta la parcela (15 % para el río Mendoza y 10 % para el río Tunuyán inferior, dado el continuo mejoramiento de la infraestructura de la red en lo referido a su impermeabilización). De este modo se podría calcular el $IE_{proyecto}$ así como el $IS_{proyecto}$ de las áreas de regadío mencionadas.

Resultados

La Tabla 2 presenta valores de eficiencia y uniformidad de distribución ponderadas por método de riego para las tres zonas de estudio. Se han incluido además los valores estimados de PAE_{iq} y PAE_s , los valores medidos de DU y la eficiencia de almacenaje.

Tabla 2: Eficiencia de aplicación actual y potencial, uniformidad de distribución y eficiencia de almacenaje a nivel parcelario en las áreas de regadío consideradas.

Parámetro	río Mendoza	río Tunuyán inferior	río Tunuyán superior
Superficie regada por escurrimiento superficial (ha)	75.000	77.000	40.684
Superficie regada por goteo (ha)*	14.000	9.500	10.800
Superficie regada total (ha)	89.000	86.500	51.484
AE = EAP superficial (%)	59 (6)	67	43 (7)
Percolación profunda (%)	s/d	s/d	25 (6)
Escurrimiento al pie (%)	s/d	s/d	32 (8)
AE = EAP goteo (%)	82	82	82
AE = EAP ponderada (%)	62.6	68.6	51.2
PAE_{iq} (%)	79	86	68
$PAE_{s_{90}}$ (%)	76	81	90
Uniformidad de distribución DU_{iq} (%)	87 (3)	94	91 (3)
Eficiencia de almacenaje (%)	81 (5)	95	99 (1)

*Nota: estimaciones de los autores.

Ref.: Entre paréntesis error de muestreo ($\pm B$)

La Tabla 3 presenta los resultados de la eficiencia de riego parcelaria calculada en función de la metrología propuesta por Burt et al, (1997) para los Oasis Norte y Centro e incluye el agua de riego usada beneficiosamente (se considera que la variación del agua de riego almacenada en la rizósfera entre el inicio del un ciclo agrícola y el comienzo del próximo se aproxima a “0”) y la Tabla 4 muestra los valores del índice de sagacidad del riego(IS) para los mismos oasis regadíos :

Tabla 3: Eficiencia de riego parcelaria (IE) en los Oasis Norte y Centro de Mendoza (según Burt et al, 1997)

Parámetro	río Mendoza	río Tunuyán inferior	río Tunuyán superior
Agua evapotranspirada + remoción sales (%)	62,6 + 17	68,6 + 14	51,2 + 10
Agua cosechada (%)	0.2*	0.2*	0.2*
Agua para la preparación del suelo (%)	5.0*	5.0*	5.0*
Fracción de agua rehusada en la cuenca	2*	0*	4*
IE aproximado (%)	86.8	87.8	70.4

*Nota: estimaciones de los autores.

Siguiendo este criterio la IE alcanzaría valores de 86,8 %, 87,8 % y 70,4 % para las cuencas de los ríos Mendoza, Tunuyán inferior y Tunuyán superior, respectivamente. En estos valores no se han considerado las láminas “extra” de riego para la germinación de semillas y/o para el mantenimiento de la humedad del suelo en el momento del trasplante -acciones que se realizan sobre todo en los cultivos hortícolas- así como tampoco las requeridas para el control de heladas.

Tabla 4: Valores usados en la estimación del índice de sagacidad parcelaria (IS) parcelaria en las áreas de regadío de los oasis Norte y Centro de Mendoza (según Burt et al, 1997)

Parámetro	río Mendoza	río Tunuyán inferior	río Tunuyán superior
Agua evapotranspirada + agua para remoción de sales (%)	62.6 + 17	68.6 + 14	51.2 + 10
Agua cosechada (%)	0.2	0.2	0.2
Agua para la preparación del suelo (%)	5.0	5.0	5.0
Agua para la germinación de semillas y para el control climático (%)	2.5	2.5	2.5
Fracción de agua rehusada en la cuenca	2*	0*	4*
IS aproximado (%)	89.3	90.3	72.9

Siguiendo la metodología propuesta por Burt et al (1997), el índice de sagacidad (IS) alcanzaría valores muy similares para los ríos Mendoza y Tunuyán inferior (89,3 y 90, 3 %, respectivam.) y algo más bajos para el río Tunuyán superior (72, 9 %).

La Tabla 5 muestra los mismos indicadores (IE e IS) ahora analizados a nivel de proyecto, para los Oasis Norte y Centro de Mendoza y considerando un porcentaje de mejora en el tránsito del agua desde el dique hasta la parcela en función de la constante modernización operada en infraestructura de la red de riego en cada cuenca:

Tabla 5: indicadores de desempeño del riego a nivel de proyecto en áreas regadías de los Oasis Norte y Centro de Mendoza (según Burt et al, 1997)

Indicador	río Mendoza	río Tunuyán inferior	río Tunuyán superior
IE aproximado parcelaria (%)	86.8	87.8	70.4
IS aproximado parcelaria (%)	89.3	90.3	72.9
es mejorada (%)	46 + 15 = 61	61 + 10 = 71	60
IE _{proyecto} (%)	53	62	42
IS _{proyecto} (%)	54	64	44

Discusión de Resultados y Conclusiones:

Con frecuencia, la presentación de resultados de indicadores de uso del agua en áreas regadías es objeto de discusión en relación a la utilización conceptual de algunos términos de uso frecuente como “eficiencia”, “fracción usada” y “productividad del agua”. Las definiciones vigentes surgidas de reconocidos especialistas de la International Commission of Irrigation Drainage (ICID) y rápidamente adoptadas por los ingenieros están comenzando a ser cuestionadas por planificadores, ambientalistas y defensores de la gestión integrada del agua. El concepto de eficiencia de riego ha servido a las necesidades de la agricultura por un considerable período de tiempo. Cuando los ingenieros comenzaron a ver cómo mejorar el riego, el uso del término “eficiencia de riego” comenzó a tomar importancia para permitir comparaciones cuantitativas ya sea entre regantes o entre métodos de riego y para cuantificar la fracción consumida por el cultivo. Dado que actualmente la oferta mundial sostenible o renovable de agua dulce para cualquier uso se encuentra reconocida como finita, el empleo del término eficiencia para describir el uso del agua ya no es apropiado (Willardson et al., 1994). Para Burt et al (1997) la calificación o desempeño del riego resulta necesaria para saber si se está realizando un **uso beneficioso** y/o **racional** del recurso.

Los resultados obtenidos de las evaluaciones a campo realizadas a lo largo del tiempo en las áreas regadías de la provincia de Mendoza permiten afirmar que:

La uniformidad de distribución del riego es -en general- alta y podría mejorar un poco más si la variable *uniformidad de la producción* de la vid, cultivo predominante, fuese adecuadamente valorada por el mercado. Este buen desempeño podría atribuirse a las cortas longitudes de riego utilizadas tradicionalmente en las unidades o “cuarteles” - generalmente menores a 125 m- impuestas por los sistemas de conducción de la vid (en espaldero o parral).

La eficiencia de aplicación (AE) resultó *media* para la cuenca del río Tunuyán inferior (67 %), *baja* para el río Mendoza (59 %) y aun *más baja* para el Tunuyán superior (43 %).

La eficiencia de aplicación potencial referida al manejo del método de riego (escurrimiento superficial) se considera *bueno* (> 75%) en las cuencas de los ríos Tunuyán inferior y Mendoza y *media* (68%) en el río Tunuyán superior (alta ocurrencia de casos con escurrimiento al pie). Raine et al (1998) obtienen valores similares para

regiones de Queensland-Australia y afirman que, si los parámetros de manejo fueran optimizados para cada evento de riego a lo largo del ciclo de cada cultivo, se simularía un control del riego en tiempo real, incrementándose aún más las eficiencias de aplicación (20 a 30% por encima de las optimizadas con los valores promedios), sin afectar la eficiencias de almacenaje.

A nivel parcelario, con métodos de riego por escurrimiento superficial los incrementos factibles de lograr son bajos y están alrededor del 10 % (IE e IS). La mejora en la aplicación parcelaria (uso de riego localizado) podría aumentar un poco estos valores en el Oasis Norte aunque se tropieza con la limitación de la calidad del agua de riego (ríos Mendoza y Tunuyán inferior). En el Oasis Centro, en cambio, una transformación de los sistemas de riego aseguraría un incremento sustancial en la eficiencia de aplicación parcelaria (hasta del 30 %) ya que el mismo se riega con un agua de mucha mejor calidad. Es indudable que el riego deficitario controlado puede contribuir a ahorrar agua (5 - 10 %) sin que se vea afectada la productividad del/los cultivos. Se debe aclarar aquí que no se ha considerado (debido a la complejidad de su cuantificación en cantidad y calidad) la fracción de re-uso aportada por el río Tunuyán superior a la cuenca inferior, situación que elevaría los valores de los indicadores analizados para el Tunuyán superior, pudiendo aproximarlos a los de las otras dos cuencas.

Dado que en los últimos 10 años se ha incrementado sustancialmente la impermeabilización de canales primarios y secundarios (que son los que conducen agua la mayor parte del tiempo) resulta lógico asumir para ambos oasis una mejora de la eficiencia de conducción/transporte (*es*) que podría llamarse eficiencia de conducción mejorada (*eSmejorada*). Se estima que se alcanzaría una eficiencia de riego global de: 64 % en la cuenca del río Tunuyán inferior, 54 % en el río Mendoza y 44 % en el Oasis Centro (río Tunuyán superior). Esto supone un importante ahorro de agua (aproximadamente del 30 %) si -en el futuro- la conducción y distribución se hiciera a través de canales impermeabilizados y -mejor aún- si lo fuera por medio de tuberías. Si, además, se consideran todos los *usos beneficiosos y racionales*, el valor medio ponderado de IE e IS para los Oasis Norte y Centro sería superior al 56 %.

Finalmente se concluye que es importante considerar la contribución de las *pérdidas* generadas en la conducción/transporte de la red de canales localizados en áreas de acuífero libre, así como el aporte de la percolación profunda generada por el riego excesivo en la recarga de los acuíferos, de cuya profundidad se extrae agua para ser re-usada con distintos fines y que se encuentran dentro del sistema hidrológico considerado.

Se deberá seguir trabajando sustancialmente en la mejora del aprovechamiento de recurso agua de riego para lograr que la misma llegue al usuario en mayor cantidad y con una adecuada calidad. Esto incluye la mejora de la aplicación en el interior de las propiedades, considerando que *muchas fracciones de agua* tradicionalmente consideradas como *pérdidas* forman parte del proceso productivo.

Bibliografía

AHMAD, M.D., TURRAL, H., MASIH, I., GIORDANO, M. AND MASOOD, Z. 2007. Water saving technologies: Myths and realities revealed in Pakistan's rice-wheat systems. Research report 108, IWMI, Colombo, Sri Lanka, 44 pp.

ALLEN, R.G., BURT, C., A.J. CLEMMNS and L.S. WILLARDSON. 1996. Water conservation definitions from a Hydrologic Viewpoint. Proceedings North American Water and Environment Congress, ASCE, Anaheim, CA, 6p.

ALLEN, R.G., WILLARDSON, L. and FREDERIKSEN H. 1997. Water use definitions and their use for assessing the impacts of water conservation. Proceedings ICID Workshop on sustainable irrigation in areas with scarcity and drought. Oxford, England, Sep. 11 – 12, pp 77 – 82.

BLUEMING, B., YANG H., PAHL-WOSTL, C. 2007. Making water productivity operational. A concept of agricultural water productivity exemplified as a wheat-maize cropping pattern in the North China Plain. *Agricultural Water Management* 91 (1-3), 11 – 23.

BURT, C. M, CLEMMENS A. J., STRELKOFF, T.S., SOLOMON K. H., BLIESNER R.D., HARDY L.A., HOWELL, T.A., EISENHAUER, D.E., 1997. Irrigation performance measures: efficiency and uniformity. *J. Irrig. Drain. Eng.* (November/December), 423-442.

CHAMBOULEYRON, J. 1975. Evaluación del aprovechamiento de los recursos hídricos en la región de Cuyo. Clasificación utilitaria con fines de riego de los suelos agrícolas del área media del río Tunuyán. Convenio INCYTH-INTA-DGI-CRAS. Mendoza. Argentina.

CHAMBOULEYRON J.; FORNERO L.; MORÁBITO J.; MENENTI M.; STEFANINI L. 1982. *Evaluación y optimización del uso del agua en grandes redes de riego*. Roma: Instituto Italo-Latino Americano. 176 pp.

CHAMBOULEYRON J.; SALATINO S.; MORÁBITO J.; FORNERO L. 1993. *Performance of basin irrigation in the lower Tunuyán River in Mendoza, Argentina*. *Irrigation and Drainage Systems an International Journal*, Kluwer Academic Publisher, v. 7, p. 1-11.

CHAMBOULEYRON J.; SALATINO S.; MORÁBITO J.; MIRÁBILE C. 1997. Irrigation efficiency as a performance parameter in the command area of Middle and Lower Tunuyán river, Mendoza, Argentina INTERNATIONAL SEMINAR: RESEARCH PROGRAM ON IRRIGATION PERFORMANCE (RPIP). IIMI, ILRI, IHE, INA-CRA AND UNCUYO. Mendoza. p. 1-15.

De FRAITURE, C. And MICHELNS, D. 2010. Satisfying future water demands for agriculture. *Agricultural Water Management* 97, 502-511.

DEPARTAMENTO GENERAL DE IRRIGACION (DGI). 2004. Planes Directores de Cuenca. Mendoza – Argentina.

FONTELA C., J. MORABITO, J. MAFFEI, S. SALATINO, C. MIRABILE Y L. GRASSI, CARLOS. 1998. Fundamentos del riego. Serie Riego y Drenaje RD- 38, Cidiat, Mérida

INDEC: Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. 2002. Censo Nacional Agropecuario (CNA). República Argentina.

- ISRAESEN, O. Y HANSEN, V. 1965. Principios y aplicaciones del riego. Universidad del estado de Utah, Logan, Utah, Estados Unidos. 385 p.
- JENSEN, M. 2007. Beyond irrigation efficiency. *Irrig. Sci.* 25, 233-245.
- KAMILOV, B., IBRAHIMOV, N., EVETT, S., HENG, L. 2002. Use of neutron probe for investigations of winter wheat irrigation scheduling. In: Proceedings of the Intern. Workshop of Conservation Agriculture for Sustainable wheat Production in Rotation with Cotton. Tashkent, Uzbekistán, October 13 -18.
- MASTRANTONIO. 2009. Riego por goteo en Mendoza, Argentina: evaluación de la uniformidad del riego y del incremento de salinidad, sodicidad e iones cloruro en el suelo. *Rev. FCA UNCuyo*. Tomo XXI, n° 1, 2009. Pp. 135-154. Mendoza – Argentina.
- MENENTI M.; CHAMBOULEYRON J.; MORÁBITO J.; FORNERO L.; STEFANINI L. 1992. *Appraisal and optimization of agricultural water use in large irrigation schemes: I Theory*. Water Resources Management, Kluwer Academic Publishers, v. 6, n. 3, p. 185-199.
- MENENTI M.; CHAMBOULEYRON J.; MORÁBITO J.; FORNERO L.; STEFANINI L. 1992. *Appraisal and optimization of agricultural water use in large irrigation schemes: II. Applications*. Water Res. Management, Kluwer Academic Publishers, v. 6, n. 3, p. 201-221.
- MOLDEN, D. 1997. Accounting for water use and productivity. SWIM Paper 1. International Water Management Institute (IWMI), Colombo, Sri Lanka.
- MOLDEN, D. and SAKTHIVADIVEL, R. 1999. Water accounting to assess use and productivity of water. *Int. Journal Water Resources Dev.* 15 (1/2), 55 – 77.
- MOLDEN, D., OWEIS T., STEDUTO, P., BINDRABAN, P., HANJRA, M.A., KIJNE, J. 2010. Improving agricultural water productivity: between optimism and caution. *Agricultural Water Management* 97, 528-535.
- MORÁBITO J.; CHAMBOULEYRON J. 1990. Evaluation and diagnosis of water use efficiency in Mendoza, Argentina. INTERNATIONAL SYMPOSIUM REMOTE SENSING IN EVALUATION AND MANAGEMENT OF IRRIGATION. Centro Regional Andino: INCyTH. Mendoza. v. 1, p. 129-146
- MORÁBITO J., C. MIRÁBILE Y S. SALATINO. 2007. *Eficiencia de riego superficial, actual y potencial en el área de regadío del río Mendoza (Argentina)*. Revista Ingeniería del Agua de la Universidad de Córdoba, España, Vol. 14, No 3. pp. 199-213. ISSN: 1134–2196.
- MORÁBITO J.; C. MIRÁBILE, S. SALATINO, P. PIZZUOLO, J. CHAMBOULEYRON y G. FASCIOLO. 2005. *Eficiencia de riego actual y potencial en el área regadía del río Mendoza*. XX CONGRESO NACIONAL DEL AGUA - III SIMPOSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DEL CONO SUR CONAGUA. Departamento General de Irrigación. Mendoza. v. 1, p. 1-10.
- OKTEM, A., SIMSEK, M., GULGUN-OKTEM, A. 2003. Deficit irrigation effects on sweet corn with drip irrigation system in a semi-arid region. I Water-yield relationship. *Agricultural Water Management* 61, 63 -74.
- PEREIRA, LUIS S., I. CORDERY and I. IACOVIDES. 2012. Improved indicators of water use performance and productivity for sustainable water conservation and saving. *Agricultural Water Management* 108, 39 - 51.

PERRY, C. 2007. Efficient irrigation: inefficient communication; flawed recommendations. *Irrig. Drain.* 56 (4), 367 – 378.

RAINE, S. R; MC CLYMONT, D. J.; SMITH R. J. 1998. The Effect of Variable Infiltration on Design and Management Guidelines for Surface Irrigation. Nacional Centre for Engineering in Agriculture, The University of Southern Queensland, Qld 4350, Australia.

SALATINO S.; CHAMBOULEYRON J.; MORÁBITO J.; DROVANDI A. (1999). *Parámetros de uso agrícola. I-1: parámetros físicos*. IWMI. Parámetros de desempeño de la agricultura de riego de Mendoza, Argentina. IWMI, México, pp. 13-30.

SHAUL MANOR and JORGE CHAMBOULEYRON editors. 1993. Performance measurement in Farmer-Management Irrigation Systems. Proceeding of an International Workshop of the FMIS network. IIMI Colombo, Sri Lanka.

SCHILARDI C., J.A. MORÁBITO, . AND R.C. VALLONE. 2011. SURFACE IRRIGATION PERFORMANCE IN THE UPPER TUNUYÁN RIVER BASIN MENDOZA, ARGENTINA. *Acta Hort.* (ISHS) 889:513-519 http://www.actahort.org/books/889/889_65.htm

TOZZI, F., MORABITO J. Y VALLONE R. 2012. Desempeño del riego en la cuenca del río Tunuyán Inferior. Informe preliminar. Inédito.

FASCIOLO GRACIELA. 2011. Futuro Ambiental de Mendoza. EDIUNC, Mendoza Argentina.

Van HALSEMA, G.E. and LINDEN VINCENT. 2011. Efficiency and productivity terms for water management: a matter of contextual relativism versus general absolutism. *Agricultural Water Management* 108 (2012) 9-15. ELSEVIER.

WALKER, R. 1993. “SIRMOD Surface Irrigation Simulation Software”. Biological and Irrigation Engineering Department. Utah State University. Logan. Utah 84322-4104. USA.

WALKER, R. AND SKOGERBOE. 1987. *Surface Irrigation Theory and Practice*. Utah State University, Prentice – Hall.

WILLARDSON, L.S., R.G. ALLEN and H.D. FREDERIKSEN. 1994. Elimination of irrigation efficiencies. 13th Technical Conference, USCID. Denver, Colorado, October 19 – 22.

ZAPPI ADRIAN. 2012. *Revista HYDRIA*. Año 8 n° 40. Argentina.