

LA OPERACION DEL AGUA DE RIEGO EN EL RIO TUNUYAN INFERIOR - MENDOZA - ARGENTINA. INDICADORES DE DESEMPEÑO

José Morábito¹⁻², S. Salatino¹, C. Mirábile¹ y J. Chambouleyron¹⁻²

¹ Instituto Nacional del Agua y del Ambiente, Centro Regional Andino (INA-CRA)

² Universidad Nacional de Cuyo Facultad de Ciencias Agrarias (UNCuyo-FCA)

Mendoza - Argentina

RESUMEN

El presente trabajo analiza quince años (1982 - 1997) de entrega de agua desde el dique El Carrizal al área regada del río Tunuyán Inferior, en la provincia de Mendoza, con aproximadamente 80.000 ha con derecho de riego superficial y 55.000 ha reducidas a la efectiva entrega del agua.

En él se compara la erogación del dique con los caudales derivados a la red de riego, las necesidades netas de riego y la variación de los niveles freáticos en la zona de estudio.

Se analiza el indicador de desempeño denominado "Consumo Total" (CT) definido como el cociente entre las necesidades netas de riego y el volumen derivado hacia el área de riego y se propone un "Indicador de Entrega" (IE) que considera además, las necesidades extras de agua (laboreo del suelo y riego post-cosecha antes del corte de agua en la red de canales durante el invierno) a fin de realizar una asignación más racional del agua. Ambos indicadores han sido calculados para el área correspondiente a la superficie reducida a la efectiva entrega del agua.

A modo de norma práctica para la operación de la entrega se muestra - a través de gráficos la relación entre el indicador CT y los niveles freáticos medios del área. Se observa una tendencia a la elevación de los niveles freáticos para $CT < 0,42$.

Se muestra gráficamente que en muchos años y durante los meses de agosto, setiembre, abril y mayo, los valores del IE son menores a 0,42 lo que estaría indicando la entrega de agua en exceso y produciendo un efecto negativo mediante la elevación de los niveles freáticos.

Si en la programación de la entrega se respeta que el valor del indicador IE sea mayor a 0,42 se podría reducir las áreas afectadas por problemas de revenición, evitando la posterior salinización del suelo. De esta manera se contribuiría a la protección de los recursos naturales (agua y suelo), incrementar los rendimientos agrícolas por unidad de volumen de agua, aumentar la productividad media y mejorar la calidad de vida de los agricultores del lugar.

1. INTRODUCCION

En 1994 la superficie regada en Argentina alcanzaba 1.627.000 ha. Esto significó un incremento de la superficie cultivada del 53% con respecto a 1990 y una tasa de crecimiento anual del 1.8 % (Morábito, 1997).

La provincia de Mendoza, ubicada en el centro-oeste de Argentina y a 650 m sobre el nivel del mar, es la que tiene la mayor superficie regada del país (22%). Por su condición de semidesértica (200 mm/año de lluvia promedio y 1300 mm/año de evapotranspiración del cultivo de referencia) su desarrollo y la vida de sus habitantes se deben exclusivamente al aprovechamiento de sus ríos, de régimen nival. El agua es utilizada por diferentes usuarios: la agricultura, la industria, el abastecimiento de poblaciones (agua potable), el riego urbano (arbolado de calles y paseos públicos), la producción energética, etc. Como la agricultura es uno de los principales usuarios del recurso hídrico provincial resulta fundamental conocer la efectiva demanda de riego, a fin de planificar un uso racional de los recursos disponibles.

En cada uno de sus ríos se ha desarrollado una importante infraestructura de aprovechamiento del riego: río Mendoza (49 m³/s), río Tunuyán (31 m³/s), río Diamante (35 m³/s), río Atuel (34 m³/s) y río Malargüe (4,4 m³/s). Los ríos Grande, Barrancas, Colorado y Desaguadero no son usados para riego.

El área regada de la provincia de Mendoza ocupa solo el 3% de su superficie. Los principales cultivos son: vid 53%, frutales 17% (principalmente durazneros, ciruelos, manzanos, perales, damascos y nogal), hortalizas 11% (principalmente tomate, papa, ajo, cebolla, zapallo y zanahoria), forrajes 8%, forestales 6%, olivos 3% y otros 2%. (Estadísticas Agropecuarias de Mendoza, 1988).

La provincia cuenta con una red de 9000 km. de canales de riego, de los cuales sólo unos 500 km. de canales primarios y secundarios están impermeabilizados. La eficiencia de proyecto, relación entre el agua consumida por los cultivos respecto del agua derivada de sus ríos para tal fin, resulta del 40%, valor que con la actual infraestructura solo podría elevarse hasta un 50%.

La casi totalidad del área es regada con métodos de riego por superficie, surcos y melgas, con láminas e intervalos de riego variables en función del cultivo, sus distintas fases dentro del ciclo vegetativo y la época del año (demanda evapotranspiratoria).

Actualmente las áreas afectadas con problemas de drenaje representan un 20% de la superficie provincial, no obstante en años hidrológicamente ricos las zonas con problemas de salinidad y drenaje han alcanzado al 44% (Plan provincial de drenaje, D.G.I., 1985).

La administración del agua en Mendoza es realizada por el Departamento General de Irrigación (DGI), organismo gubernamental autónomo y autárquico responsable de la administración del agua en toda la provincia hasta nivel de canal primario y de su entrega a las Inspecciones de Cauces, organismos de usuarios responsables del manejo y distribución del recurso en el resto de la red. Los usuarios (por ejemplo los regantes) reciben el agua en bocatoma de su propiedad.

Con respecto al área regada por el río Tunuyán inferior se ha observado un intenso aprovechamiento del recurso hídrico, tanto superficial como subterráneo. Como se trata de un río regulado, la mayoría de los agricultores cuentan con una adecuada cantidad de agua superficial, no obstante ello, muchos agricultores han construido perforaciones, ya sea para

complementar el uso del agua superficial, sobre todo en los periodos de mayor requerimiento hídrico de los cultivos (diciembre y enero) o para aumentar la superficie cultivada. Otros no tienen derechos de riego superficial y realizan el riego sólo con agua subterránea.

La entrega del agua depende de las necesidades de riego de los cultivos, del pronóstico de escurrimiento del río para el ciclo agrícola considerado (la desviación estándar promedio con respecto a los volúmenes recibidos es del 13%) (Morábito y otros, 1997), del volumen de agua almacenado en el dique, de las laminas "extra" de riego que se entregan en mayo para ser almacenada en el suelo inmediatamente antes del corte de agua (equivalente a unos 50 mm) y en agosto, para labores culturales (50 mm) y de los factores climáticos del momento (presencia de lluvias).

Si bien la entrega de agua para riego en el área de influencia del río Tunuyán inferior responde a un análisis racional de la disponibilidad del recurso y de la demanda agrícola, la efectiva asignación se ve afectada por decisiones operativas propias del momento (por ejemplo corta de agua en días festivos (Navidad y Año Nuevo), en invierno debido a la ausencia de requerimiento de los cultivos (junio y julio) y en caso de tormentas o roturas de canales), por errores de pronóstico de escurrimiento y por motivos varios (exigencia de los agricultores, contingencias climáticas propias de cada año agrícola, variaciones de la superficie con derecho y sin deuda, etc.). Todo ello puede resultar en una asignación incorrecta del recurso, que afecte la capacidad productiva del área y perjudique la sustentabilidad del proyecto productivo.

Para evitar estos efectos no deseados los administradores cuentan modernamente con indicadores de desempeño. Estos parámetros, cuando han sido prolijamente obtenidos, permiten calificar la gestión y resultan una herramienta de gran ayuda para su mejoramiento, a través de la comparación entre el objetivo perseguido (entrega intentada o planificada) y la entrega realizada. El desempeño puede definirse como: el nivel con que un producto o servicio de una organización responde a las necesidades de los consumidores o usuarios y la eficiencia con que la organización usa los recursos disponibles (Bos et al, 1993).

2. OBJETIVOS

El objetivo del trabajo consiste en mejorar año a año la entrega del agua, analizando mediante los Indicadores de Desempeño, las decisiones tomadas por los responsables de la operación. Para ello se ha analizado las entregas realizadas en el área dominada por el río Tunuyán inferior, por la Subdelegación de aguas del D.G.I., durante un periodo de 15 años consecutivos (ciclos agrícolas 82/83 al 96/97).

Uno de los indicadores elegidos es el denominado "Indicador de Consumo Total" (CT), definido como el cociente entre las necesidades netas de riego y el volumen derivado hacia el área de riego. Se propone además otro, el "Indicador de Entrega" (IE) que considera además, las necesidades extras de agua (laboreo del suelo y riego post-cosecha antes del corte de agua en la red de canales durante el invierno) a fin de realizar una asignación más racional. Ambos indicadores han sido calculados para el área correspondiente a la superficie reducida a la efectiva entrega del agua. Los valores del último indicador podrán ser utilizados como norma práctica operativa para tomar decisiones de asignación del agua, además de advertir sobre posibles consecuencias negativas del manejo realizado (por ejemplo la elevación de los

niveles freáticos en el área), posibilitando su inmediata corrección durante el ciclo agrícola analizado.

3. MATERIAL Y METODO

La metodología desarrollada en la investigación se ha basado en las siguientes determinaciones: las diferentes superficies con derecho de riego, el modelo de cultivos predominante en el área y el cálculo de las necesidades netas de riego.

Cálculo de las superficies con derecho de riego:

- * Superficie reducida a la efectiva entrega del agua (A_r): el Departamento General de Irrigación (DGI) tiene un empadronamiento de los diferentes usuarios, las superficies y del tipo de derecho que estos poseen.
- * Área con derecho de riego definitivo (A_d)
- * Área con derecho eventual (A_e)
- * Área con derecho de riego para arbolado público (A_p)

Corresponde indicar aquí que en años normales y a los fines de la efectiva entrega del agua para riego el DGI considera la entrega de agua al 100% de la superficie con derecho de riego definitivo y al 80% de la superficie con derecho de riego eventual y/o arbolado público. Siguiendo este criterio, la máxima superficie que puede ser abastecida con fines de riego por el río Tunuyán inferior es de 76.733 ha (Morábito y otros, 1997).

Es importante aclarar que esta superficie podría ser menor si la entrega se realizará solamente a los usuarios que se encuentren al día en el pago del canon de riego establecido por el DGI. Por lo tanto "superficie pagada" es la superficie que se encuentra al día en el pago del canon de riego a una fecha dada, ya sea porque no presenta deudas o porque las mismas se encuentran en proceso de pago. En este caso se puede distinguir: área con derecho de riego definitivo pagada (A_{dp}), área con derecho de riego eventual pagada (A_{ep}) y área con derecho de riego para arbolado público pagada (A_{pp}).

En función de lo expuesto se puede establecer la siguiente ecuación.

$$A_r = A_{dp} + (A_{ep} \times 0,8) + (A_{pp} \times 0,8) \quad (\text{ha})$$

donde si se considera la superficie pagada, las 76.733 ha pasan a ser 53.713 ha.

En lo que se refiere a modelo de cultivos, se define como tal a la proporción que cada cultivo tiene sobre el total de la superficie cultivada en una unidad dada. Es la base para el cálculo del requerimiento hídrico de los cultivos. Como cada cultivo tiene un requerimiento hídrico específico resulta necesario conocer que porcentaje del total de la superficie cultivada ocupa, para calcular la demanda total.

Estudios realizados en el área (Morábito J. y otros, 1997). permiten conocer el modelo de cultivos: vid 64,4%, frutales de carozo 16,4 %, olivo 5,3 %, forrajes 4,6 %, tomate 3,2 %, forestales 2,1 %, otros frutales 1,8 %, otras hortalizas 1,6 % y ajo 0,6 %.

Para el cálculo de las necesidades netas de riego se seleccionó la estación meteorológica San Martín, operada por el Servicio Meteorológico Nacional, como representativa del área regadía del río Tunuyán inferior. Se procesó una serie histórica de diez

(10) ciclos agrícolas: 1975/76 al 1984/85. Las variables analizadas a nivel mensual fueron: temperatura máxima media, temperatura mínima media, humedad relativa media, velocidad del viento, heliofanía efectiva (horas de brillo solar) y lluvia.

Posteriormente se procedió al cálculo de la evapotranspiración de los distintos cultivos siguiendo la metodología sugerida por FAO-ICID (1994) que propone el uso de la ecuación de Penman-Monteith como la más confiable. Utilizando el modelo CROPWAT se calculó para cada estación y para cada ciclo agrícola la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o) y la precipitación efectiva.

La caracterización de los diferentes cultivos contó entre los parámetros más importantes la duración de cada fase del ciclo vegetativo, el valor del coeficiente de cultivo para cada fase (kc), la profundidad efectiva de raíces, el coeficiente referido al umbral de riego óptimo y el coeficiente de respuesta del cultivo en rendimiento, en función de la disponibilidad de agua (k_y). Los resultados obtenidos con el modelo fueron comparados con los de estudios locales (Oriolani M., 1981) y con los de la bibliografía internacional (FAO sryd 33).

Para el análisis de la entrega se contó con el procesamiento de la información relativa al banco de caudales erogados por el DGI, en el Dique El Carrizal, para el período comprendido entre 1982 y 1997 (Subdelegación río Tunuyán inferior). A posteriori se comparó esta información con las necesidades de riego calculadas (en el caso de los ciclos agrícolas en que no se contaba con información meteorológica para correr el modelo CROPWAT, se utilizaron las necesidades de riego netas para una probabilidad de ocurrencia del evento del 75%).

Como el área dispone de una importante red freaticométrica se realizó el análisis de la variación de los niveles freáticos utilizando el banco de datos obtenidos por lectura directa en el área en estudio (Mirábile y otros, 1998).

A posteriori se realizó la comparación entre las necesidades netas de los cultivos del área y los volúmenes derivados a la red de canales desde el dique El Carrizal (la entrega). Este cociente define al indicador denominado "de consumo total - CT" (Morábito y otros, 1997). Los valores del mismo fueron correlacionados con los niveles freáticos disponibles y de este análisis surgieron normas operativas de utilidad para la gestión de la futura entrega.

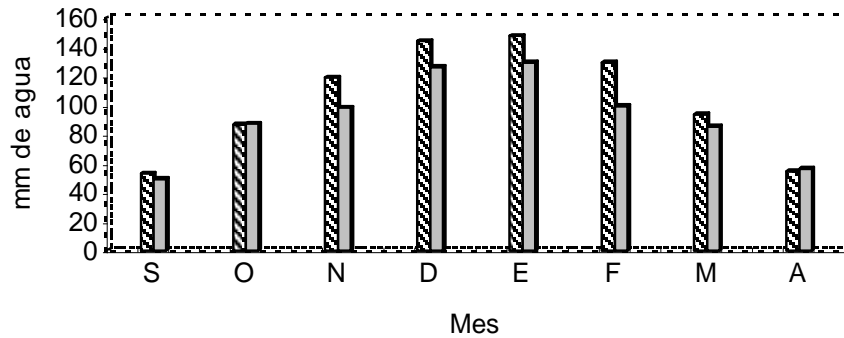
4. RESULTADOS

Comparando el valor de la evapotranspiración media calculada para la vid para un período de 10 años en el Departamento San Martín, con los resultados medidos a campo en el Departamento Luján de Cuyo (Oriolani M., 1981) se observa un buen ajuste aunque el modelo estime por exceso en los meses pico (figura 1). Esto es así porque el área dominada por la estación meteorológica San Martín, es más seca y calurosa que el área del ensayo con el cual se la ha comparado. Sobre la base del modelo de cultivo se calculó el requerimiento neto de riego y las necesidades mensuales netas de riego para el río Tunuyán inferior y para cada ciclo agrícola, utilizando el modelo CROPWAT.

El Cuadro 1 muestra las necesidades netas de riego expresadas en l/s.ha para las probabilidades de ocurrencia del 50% y del 75% y permite calcular el caudal para el área a servir (C_{neto}, m³/s) y el volumen neto (V_n, hm³) en función de la superficie a ser abastecida.

El Cuadro 2 muestra los volúmenes entregados a la red de canales (Vc) del río Tunuyán inferior desde el Dique El Carrizal, para los períodos correlativos 82/83 al 96/97. En el pueden verse también los valores medios mensuales y los totales para cada ciclo agrícola.

Figura 1: Comparación de evapotranspiración en vid. Mendoza. Rallado (calculado) y liso (medido)



Cuadro 1: Necesidades netas (l/s ha) para dos probabilidades. Río Tunuyán inferior.

Mes	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J
P 50%	0.02	0.03	0.22	0.36	0.49	0.57	0.55	0.45	0.36	0.21	0.02	0.01
P 75%	0.02	0.03	0.24	0.38	0.52	0.63	0.61	0.50	0.38	0.23	0.02	0.02

Cuadro 2: Volúmenes entregados a la red de canales del río Tunuyán inferior (hm3).

Mes	82/83	83/84	84/85	85/86	86/87	87/88	88/89	89/90	90/91	91/92	92/93	93/94	94/95	95/96	96/97	Med
J	7	0	57	18	69	65	53	0	6	4	38	75	18	0	4	28
A	94	40	100	80	110	110	92	77	83	95	104	91	104	77	75	89
S	111	108	116	101	92	156	97	97	79	99	114	118	104	81	74	103
O	134	128	132	119	109	168	115	107	94	120	123	119	100	95	94	117
N	149	137	84	86	141	158	116	101	86	88	95	128	124	90	73	110
D	159	159	109	89	144	173	105	89	87	116	101	92	117	116	69	115
E	174	165	151	129	171	172	100	122	92	99	136	122	133	125	70	131
F	157	146	126	111	155	134	94	73	84	158	128	116	114	90	63	117
M	149	120	142	76	161	128	62	103	73	143	142	108	118	62	62	110
A	136	96	107	98	139	120	66	93	64	136	125	85	96	86	64	101
M	156	128	118	36	125	124	68	93	58	80	66	75	76	65	4	85
J	31	39	3	0	3	0	0	0	0	0	13	2	0	0	0	6
Total	1457	1266	1245	943	1419	1508	968	955	806	1138	1185	1131	1104	887	652	1111

El Cuadro 3 presenta la demanda neta (ETc - ppe) de las 53.713 ha del río Tunuyán inferior para los ciclos 82/83, 83/84, 84/85 y 85/97 (valor promedio).

La figura 2 permite comparar los caudales erogados desde el dique e ingresados a la red de riego (oferta hídrica) con las necesidades netas de riego (ETc - ppe) para la superficie reducida a efectiva (A_r) durante el ciclo 82/83. Se observa que el caudal erogado durante el ciclo agrícola 82/83 - año hidrológico rico - llegó a más de 270 m³/s, mientras que el caudal máximo derivado a la red de canales no superó los 65 m³/s (máxima capacidad de la red de canales). Muy por debajo se encuentran las necesidades netas de riego para una adecuada producción de los diferentes cultivos. Esto resulta razonable si se asume que la máxima eficiencia de proyecto (ep) factible de alcanzar - considerando la actual infraestructura de riego y los métodos de riego usados por los agricultores - sería del 50 %.

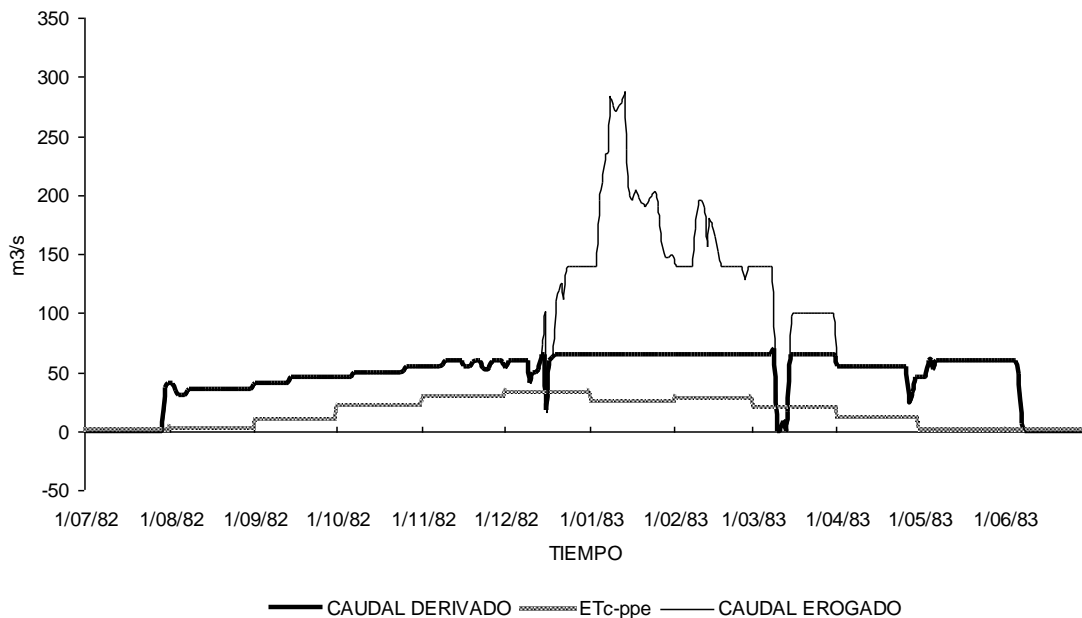
La figura 3 muestra los volúmenes derivados a la red de canales y los compara con las necesidades netas de riego (Etc - ppe) para el mismo ciclo. Pueden observarse claramente los

desfasajes ocasionados por los excedentes entregados para compensar las pérdidas de la red de riego y las que se originan en la aplicación del agua dentro de la propiedad. Si bien este criterio es razonable, en la mayoría de los ciclos agrícolas analizados, se observan meses (agosto, setiembre, abril y mayo) en los que la entrega es exageradamente alta comparada con el requerimiento neto de riego.

Cuadro 3: Volúmenes netos demandados por el área reducida a entrega efectiva (hm³).
Río Tunuyán inferior

Mes	82/83	83/84	84/85	85/97
J	1	1	1	3
A	4	3	3	4
S	26	21	28	33
O	56	53	49	55
N	75	68	61	72
D	88	88	72	91
E	69	88	72	88
F	68	69	47	65
M	53	50	52	53
A	29	31	32	33
M	3	3	3	4
J	1	1	1	3
Total	473	476	421	504

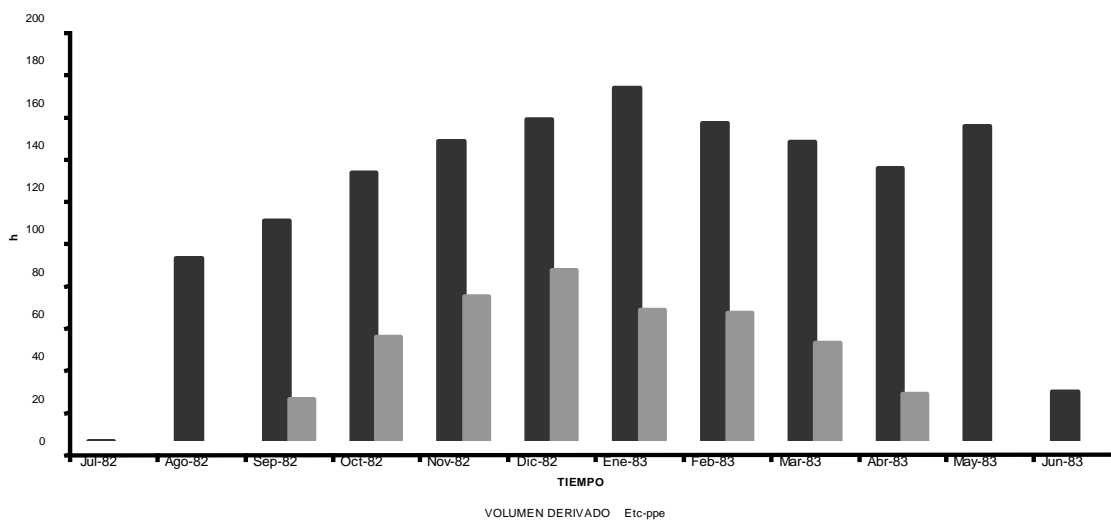
Figura 2: Caudal derivado del Carrizal vs Etc - ppe. Ciclo agrícola 1982 - 1983.



La búsqueda de una aplicación práctica de lo hasta aquí analizado se orientó a diseñar una herramienta que permita al encargado de la entrega una inmediata toma de decisiones para la corrección de los desfasajes entre demanda y oferta del agua para riego. Esa herramienta es el Indicador de Consumo Total (CT), definido como el cociente entre las necesidades netas de riego y el volumen derivado a la red de riego:

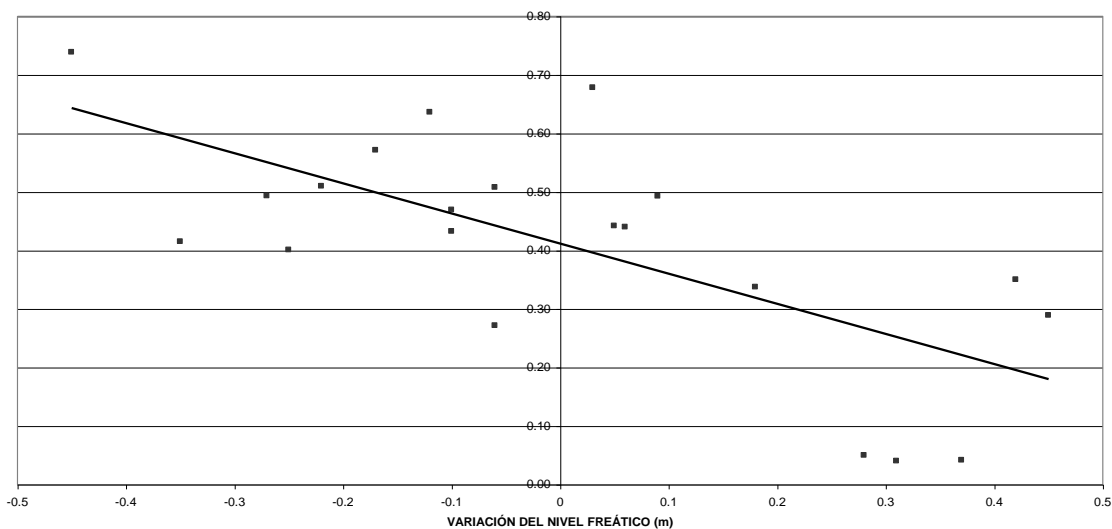
$$\text{Indicador de consumo total} = CT = ((ETc - ppe) / Vc)$$

Figura 3: Volumen derivado v s Etc - ppe. Ciclo agrícola 1982 - 1983.



La figura 4 muestra la correlación encontrada para la zona del estudio entre el cociente $((Etc - ppe) / Vc)$ y la variación del nivel freático (Mirábile y otros, 1998). Puede verse en ella una tendencia que vincula bajos valores de CT con marcadas elevaciones de los niveles freáticos y viceversa. Asimismo valores de CT cercanos a 0.42 estarían indicando una situación de estabilidad en la que el nivel freático no sufriría variaciones importantes.

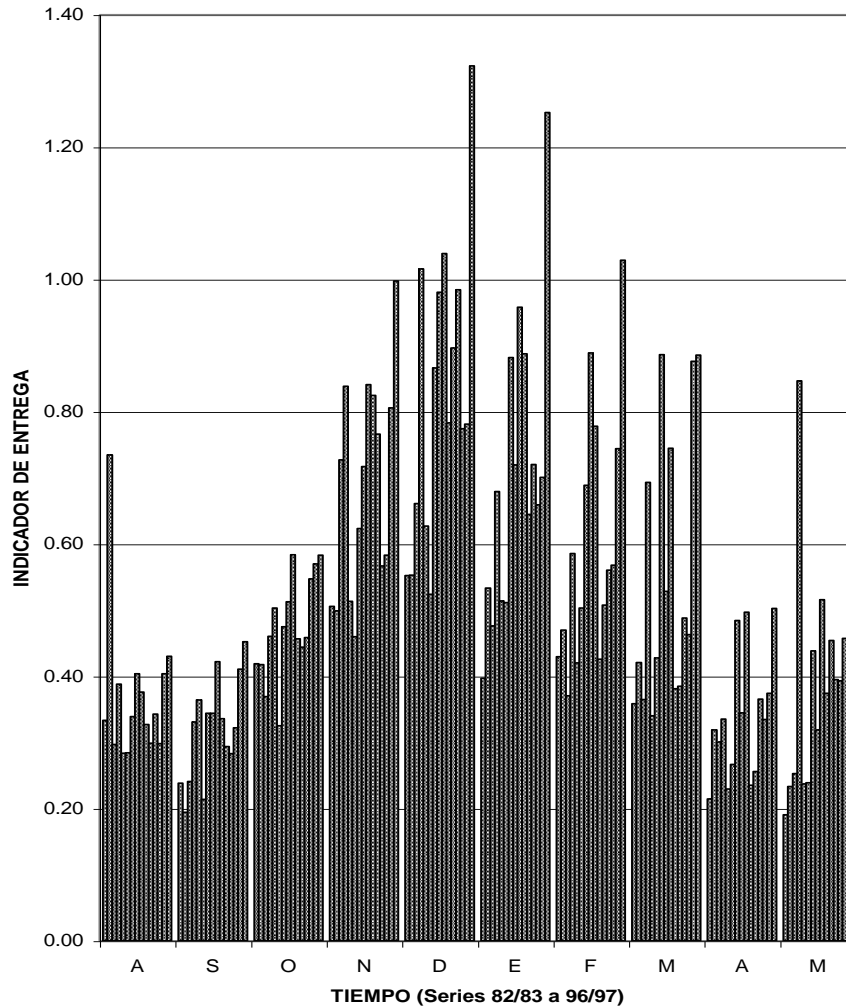
Figura 4: Relación $((Etc-pppe)/Vc)$ vs variación del nivel freático. $(y = -0.51x + 0.431, R^2 = 0.47)$



A los fines prácticos esta forma de correlacionar la Información disponible permite detectar los efectos negativos de una entrega excesiva y ayuda al operador en la planificación de una entrega que mantenga controlado el nivel freático para evitar el aporte de agua salina que reduce la aptitud productiva de los suelos.

La figura 5 presenta el "Indicador de Entrega" (IE) para los quince años (1982/1997). Este indicador es el que debería ser usado como herramienta auxiliar de decisión en la entrega, puesto que suma al requerimiento neto de riego antes calculado las láminas "extra" de riego para los meses de agosto y mayo.

Figura 5: Indicador de entrega vs tiempo para 15 ciclos agrícolas



Como puede verse, en la mayoría de los años analizados el valor del indicador IE en los meses de agosto, setiembre, abril y mayo, resulta ser todavía muy bajo (<0,40). Esto estaría indicando un manejo ineficiente del agua.

5. CONCLUSIONES

Entre las conclusiones que merecen destacarse como resultado de este trabajo está la importancia del registro y el procesamiento sistemático de la información básica relacionada con caudales erogados en dique y derivados a la red de canales, de la superficie empadronada actualizada (desagregada por tipo de derecho), del modelo de cultivos de cada ciclo agrícola y del registro de los niveles freáticos, en una determinada unidad de manejo.

Asimismo es imprescindible que el organismo encargado de la entrega disponga de la información meteorológica necesaria para el cálculo de la evapotranspiración de los cultivos del área y del software para su procesamiento bajo normas internacionalmente reconocidas.

El entrenamiento de personal dedicado a la sistematización en base de datos y a su análisis en forma gráfica, clara y sencilla permitirá un avance cualitativo en el aprovechamiento de la información existente a nivel de organismo administrador del recurso.

La determinación de indicadores de desempeño, es decir de parámetros que permitan analizar el ajuste entre un objetivo perseguido dado y la realidad, resultará de utilidad para detectar falencias o desajustes en la entrega y arbitrar las medidas que permitan su corrección inmediata. En este marco la propuesta de uso del indicador de consumo total (CT) y de su comparación con la variación de los niveles freáticos del área resultó adecuada para planificar un manejo que asegure la sustentabilidad de los recursos agua y suelo. Cuando el indicador de consumo total es bajo, la fracción de agua no consumida produce elevación de la freática. Con valores superiores a 0,5 el nivel freático medio baja, por lo que se recomienda - fuera de los meses pico - elevar el indicador a 0,5 - 0.6. De este modo podría reducirse el clásico déficit hídrico de diciembre - enero.

6. BIBLIOGRAFIA

- Bos M. Performance indicators for irrigation and drainage. Irrigation and Drainage Systems. Volume 11 - N° 2, 119-137. May, 1997.
- Chambouleyron J., J. Morábito, L. Fornero, M. Menenti, L. Stefanini. Evaluación y optimización del uso del agua en grandes redes de riego. IILA-INCYTH, Roma, 1982.
- Departamento General de Irrigación. Descripción preliminar del área del río Tunuyán inferior. Mendoza, Octubre de 1996.
- FAO. Smith Martin. CROPWAT, programa de ordenador para planificar y manejar el riego. Serie riego y drenaje 46. Roma - Italia, 1993.
- Gobierno de la provincia de Mendoza. Estadísticas agropecuarias del censo nacional 1988. Mendoza, 1990.
- Morábito, José A. Introducción al riego. El riego en el mundo, Argentina y Mendoza. INTA-CRA y UNCuyo, 1997.
- Morábito, José A., M. Bos, S. Vos & R. Brouwer. The service level between the Irrigation Department and Users Associations, Tunuyan System, Mendoza, Argentina. International seminar: research program on irrigation performance (RPIP). Mendoza - Argentina, 1997.
- Oriolani Mario Requerimiento hídrico de los cultivos. INTA, Mendoza - Argentina, 1981.
- Satlari G., Antonetti G. y Molina J., Análisis de los usos hortícolas en la zona irrigada del oasis norte de Mendoza, DGI. Mendoza, 1997.