

EFICIENCIA DE CONDUCCION EN LA CUENCA DEL TUNUYAN SUPERIOR

OBJETO DEL INFORME

Es necesario estimar las eficiencias con que el agua es conducida y distribuida desde la cabecera del sistema y la eficiencia de aplicación dentro de las fincas. Con los valores de estas tres eficiencias y afectadas por la demanda neta, se obtiene la demanda bruta en cabecera del sistema¹.

El valor de la eficiencia de conducción da una magnitud de las pérdidas de agua que se producen en la conducción primaria y en las conducciones secundarias; se la define como la relación entre el volumen de agua derivado a las conducciones terciarias y el volumen derivado a la zona de riego desde la captación.

El valor de la eficiencia de distribución es la relación entre el agua suministrada a las unidades de riego y la derivada a los canales terciarios desde los secundarios.

El valor conjunto de la eficiencia de conducción y distribución se la denomina eficiencia externa.

AREA DE ESTUDIO

Red de distribución en la Cuenca superior del Río Tunuyán. [Ver mapa Adjunto](#)

METODOLOGÍA

A partir de la información de relevamientos a campo e información cartográfica en formato SIG proporcionada por la Subdelegación del Río Tunuyán superior, se extrajo en cada Unidad de Manejo: la longitud, el ancho, sección y material de la red de riego, para cada elemento de conducción del agua: arroyos, canales, e hijuelas. En cada caso se determinó el porcentaje de canales e hijuelas revestidos en cada Unidad de Manejo. Tabla 2

La Subdelegación del Río Tunuyán superior, y el ICAT proporcionaron información sobre caudales, coeficientes de riego utilizados, y cronogramas de entrega del agua en cada inspección. También se usaron datos de la Red Telemétrica, y del Padrón de regantes (actualizado al año 2013).

Hay pérdidas inevitables de agua en todas las formas de conducción. Las pérdidas de agua en canales abiertos se deben a la evaporación, a fugas en la estructura pero, sobre todo, a la filtración en el subsuelo. Esta puede ser reducida de modo importante mediante un recubrimiento.²

¹ Departamento General de Irrigación – Proyecto PNUD/FAO/ARG/00/008 Plan Director de Ordenamiento de Recursos Hídricos – Informe Principal. Volumen III: Cuenca del Río Tunuyán Anexo N° 3: Demanda Hídrica

² D.B.Kraatz, Hydraulic Engineer FAO Land and Water Development Division, 1967. *Irrigation Canal Lining*. Food and Agriculture Organization of de United Nations Rome.

Las pérdidas de agua en canales debidas a la evaporación son pequeñas y despreciables en relación a las pérdidas por infiltración. Para tener una dimensión, para una evaporación de 10mm/día corresponde una pérdida en canales de $0,01 \text{ m}^3/\text{m}^2$ de una superficie de agua por día³.

La pérdida por infiltración es la más importante y depende de muchos factores, como el tirante que alcanza el agua que transporta el canal, el material que constituye el fondo y taludes del canal, las dimensiones de la sección, y la textura o graduación del material.⁴

Es común que la infiltración disminuya con la edad del canal, sobre todo si conduce agua cargada con sedimentos. Esto se debe a que las partículas finas en suspensión y las sales disueltas transportadas por el agua se depositan y sellan en el perímetro mojado. Como consecuencia trae aparejado la reducción de pérdidas. Tal es así que la mayoría de los canales que constituyen las redes secundarias y terciarias en Mendoza, son canales sin revestir y las pérdidas en ellos no alcanzan valores muy grandes, debido a la estabilización en el tiempo.



Imagen 1 y 2: Vistas de dos tramos sin revestimiento del Canal Uco. Las partículas finas en suspensión y las sales disueltas transportadas por el agua se depositan y sellan en el perímetro mojado. Esta condición resulta en una disminución de la infiltración

³ Roscher, K., 1986 *Irrigation Delivery Scheduling*. Department of Irrigation and Civil Engineering. Agricultural University Wageningen, The Netherlands.

⁴ Sotelo Avila, Gilberto. *Hidráulica de Canales*. México, UNAM Facultad de Ingeniería. 2002

El largo del canal también influye en la cuantificación de la infiltración, en largos recorridos la infiltración puede tomar el valor de la tercera parte del caudal que circula⁵

1. Métodos de medición de pérdidas por infiltración:

Para medir las pérdidas por infiltración existen métodos directos y métodos analíticos empíricos.

Estas pérdidas se expresan comúnmente⁶ como:

- Caudal infiltrado por unidad de longitud, en $\text{m}^3/\text{s} / \text{km}$
- Volumen por unidad de superficie de área mojada del canal y por unidad de tiempo; en $\text{m}^3 / \text{m}^2 / \text{día}$.
- Caudal infiltrado con relación al caudal que conduce el canal por unidad de longitud, en tanto por ciento por km.

1.1. Métodos directos:

Para determinar las pérdidas por infiltración en canales sin revestir, la forma más sencilla es realizar aforos entre secciones, suponiendo que no hay otro tipo de pérdidas. La diferencia entre el caudal de ingreso y el de egreso en un tramo considerado expresado en porcentaje del caudal de ingreso representa la pérdida por infiltración.

Se evaluaron antecedentes locales de determinación de Eficiencias de conducción en la red de riego del río Mendoza⁶. Luego de la observación a campo de los canales, las características de los suelos, la topografía de la zona, del diálogo con los niveles de operación de la red, se considera adecuado para la determinación de la eficiencia de conducción en la red de riego del río Tunuyán Superior el método de entradas y salidas. El cual consiste en el aforo entre dos secciones de un tramo de canal. Las pruebas se realizan en las condiciones de funcionamiento y para el caudal de operación del canal.

1.2. Métodos analíticos y empíricos:

Con valores conocidos y medidos de pérdidas por infiltración, para diferentes condiciones del medio físico se pueden establecer ecuaciones empíricas y gráficos.⁵ Algunos autores han encontrado expresiones empíricas o semiempíricas para una determinación estimativa del caudal perdido por infiltración. No obstante los métodos analíticos han sido cuidadosamente elaborados y suficientemente probados, después de obtener varios resultados en diferentes tipos de canales y suelos.¹

⁵ Facultad de Ingeniería U.N.Cuyo. Obras Hidráulicas I. 2010

⁶ Satlari, J.Gustavo. Infiltración y Erosión: sus efectos sobre la red de canales a partir de la regulación del río Mendoza. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza, 2011

En el caso de la red hídrica de la cuenca del Río Tunuyán superior se probaron varias expresiones empíricas, adoptándose el *Criterio de Moritz* como el que mejor se ajusta mejor a las condiciones de la cuenca.

$$F \left(\frac{m^3}{s \text{ km}} \right) = \frac{0.018 \times C \times B \times \sqrt{h}}{\sqrt[4]{\omega}}$$

En dónde F es la pérdida por infiltración expresada en m³/s y por km del cauce, B es el ancho superficial del canal en m, h es la altura normal en m y ω es el área mojada en m², y el valor del coeficiente C depende del tipo de terreno e indica la cantidad de m³ de agua perdidos por día por cada m² de superficie. El coeficiente C depende del tipo de suelo en el cual esta excavado el canal bajo análisis. Valores de C en Tabla N°1.

TIPO DE SUELO	COEFICIENTE C
Suelo Limo arcilloso impermeable	0.08-0.13
Suelo Limo arcilloso común	0.13-0.23
Suelo Limo arcilloso arenoso	0.23-0.30
Suelo limo arenoso	0.30-0.49
Suelo limo arenoso suelto	0.49-0.61
Suelo arenoso con grava	0.61-0.76
Suelo de grava poroso	0.76-0.92
Suelos de grava dominante	0.62-1.83

Tabla 1 Coeficiente C de Moritz

En nuestros canales el tipo de suelo más común es limo arenoso con un valor de C entre 0,30 y 0,49.

En cada Unidad de Manejo se calculó la Eficiencia de Conducción, como una media ponderada de la superficie regada. Posteriormente los valores calculados a partir de la información proporcionada se validaron en los canales e hijuelas con el Método de entradas y salidas.

Unidades de Manejo	Superficie Empadronada (ha)	Longitud total (Km)	Longitud revestida (km)	Longitud de hijuelas (km)	% Revestido del Total
Matriz Este Unificado	3125.8	126.72	18.25	105.12	14
Canal El Peral Unificado	655.2	21.07	2.12	18.79	10
Hijuela Gualtallary	2080.9	21.88	0.90	20.97	4
Canal Esquina Unificado	1458.9	73.53	20.56	52.97	28
Río de la Pampa o Salto	927.9	15.56	5.78	10.12	35
Hijuela La Pampa	565.5	31.52	8.24	23.28	26
Arroyo Villegas	1448.3	47.73	4.58	43.09	10
Arroyo C ^a La Quebrada	198.7	4.00	0	1.47	0
Arroyo Grande	1482.3	55.64	8.2	47.43	15
Canal Vista Flores	4869.1	81.417	13.24	67.9	12
Canal Manzano	2339.3	47.71	62.74	40.69	13
Canal Rincon	851.5	31.46	94.71	27181	26
Canal Matriz Valle de Uco	10164.4	351.17	22.94	328.22	6.5
Yaucha Aguanda unificado	8126.2	349	64	284	18
Canal Capacho	1025.7	24.23	0.54	23.68	2

Tabla 2: Determinación de las longitudes de canales e hijuelas revestidas y sin revestir en las Unidades de Manejo

CANAL MANZANO -2339,3ha		
Elemento de la red	canal	hijuela
material	tierra	tierra
longitud (km)	5.728	35.035
Caudal Q (m ³ /s)	0.101	0.620
Velocidad V (m/s)	1.85	1.85
C Coeficiente de Moritz	0.36	0.36
ancho superficial B (m)	1	1
área A=Q/V (m ²)	0.055	0.335
altura h(m)	0.055	0.335
F ₁	0.002	0.004
F ₂	0.483	0.761
pérdida por infiltración F _{final}	0.003	0.005
pérdida por infiltración en tramo F _{tramo}	0.018	0.173
porcentaje pérdida	18%	28%
Tiempo mojado (permanencia)	0.8	0.8
% pérdida por tiempo	0.142	0.223
Eficiencia externa	86%	78%
Eficiencia externa	0.8579	0.7771
Superficie regada (ha)	328.86	2010.44
Eficiencia externa ponderada	282.12	1562.34
Ef _{ext.} ponderada en la Unidad de Manejo	79%	

Tabla 3: Ejemplo de cálculo de la Eficiencia de Conducción según la Ecuación de Moritz en la Unidad de Manejo Canal Manzano.

Se calculó la pérdida por infiltración en cada tramo de canal, tomando un ancho medio, ya que las hijuelas y canales sin revestir en sección natural presentan un ancho variable.



Imagen 3: vista del Partidor Rama Norte y Rama sur sobre un tramo revestido del Canal Consulta



Imagen 5: Vista de tramo revestido de la Rama de Afuera. Aforo con sonda de flujo.



Imagen 6: vista de tramo revestido del Canal Ancón. Aforo con sonda de Flujo.

RESULTADOS

En la siguiente tabla se muestra la Eficiencia de Conducción global de cada Unidad de Manejo.

Unidades de Manejo	Eficiencia de Conducción
Matriz Este Unificado	94%
Canal El Peral Unificado	94%
Hijuela Gualtallary	90%
Canal Esquina Unificado	91%
Río de la Pampa o Salto	93%
Hijuela La Pampa	80%
Arroyo Villegas	79%
Arroyo C ^a La Quebrada	87%
Arroyo Grande	78%
Canal Vista Flores	77%
Canal Manzano	78%
Canal Rincon	73%
Canal Matriz Valle de Uco	73%
Yaucha Aguanda unificado	72%
Canal Capacho	71%

Tabla 4 Eficiencia de conducción en las Unidades de Manejo del Río Tunuyán Superior

CONCLUSIONES

La red distribución del agua para riego del Río Tunuyán Superior actualmente posee una longitud de 1282,64km, de los cuales tiene de 327km de canales e hijuelas revestidos, que representan el 25% del total.

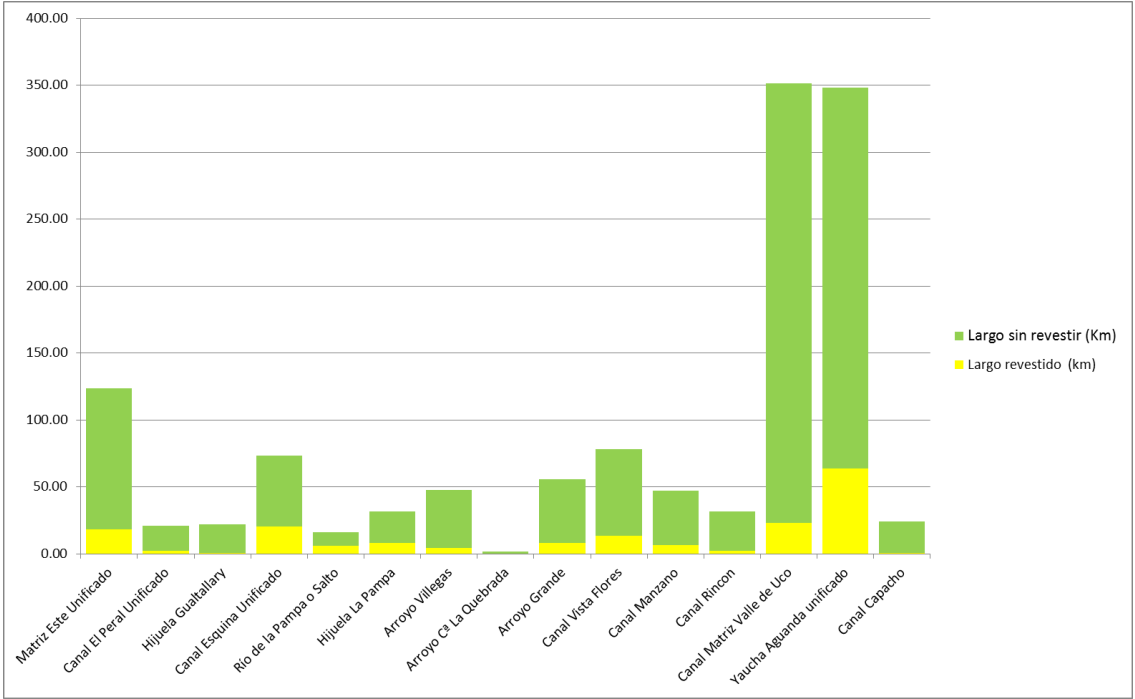


Gráfico 1: Largo de canales e hijuelas con y sin revestimiento, por Unidad de Manejo en la red de distribución del río Tunuyán superior.

En la red de distribución del agua en la cuenca del Tunuyán superior no hay diferencia significativa en los valores de Eficiencia externa obtenidos analíticamente y validados en condiciones reales.

Unidades de Manejo	Eficiencia de Conducción Validada	Eficiencia de Conducción Criterio de Moritz
Matriz Este Unificado	94%	95%
Canal El Peral Unificado	94%	91%
Hijuela Gualtallary	90%	90%
Canal Esquina Unificado	91%	91%
Río de la Pampa o Salto	93%	93%
Hijuela La Pampa	80%	80%
Arroyo Villegas	79%	79%
Arroyo Cª La Quebrada	87%	87%
Arroyo Grande	78%	78%
Canal Vista Flores	77%	77%
Canal Manzano	78%	78%
Canal Rincon	73%	73%
Canal Matriz Valle de Uco	73%	74%
Yaucha Aguanda unificado	72%	70%
Canal Capacho	71%	71%

Tabla 5 Eficiencia de Conducción calculada analíticamente según Criterio de Moritz y obtenida en condiciones reales a través del método de entradas y salidas.

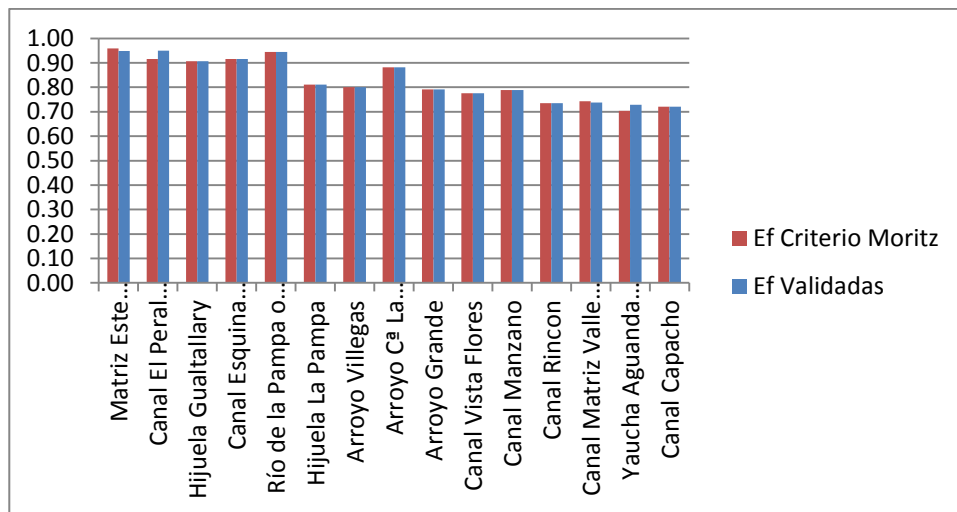


Gráfico 2: Comparación de las Eficiencias de Conducción calculada analíticamente según Criterio de Moritz y obtenida en condiciones reales a través del método de entradas y salidas.

Las Eficiencias de conducción obtenidas oscilan entre el 70 y el 95%. Las Unidades de Manejo que riegan mayor superficie, son las que presentan Eficiencias de conducción externa más bajas. Esto se debe a que hay largas hijuelas sin revestir, consecuentemente hay un área mayor por la cual ocurren las pérdidas por infiltración.

Los elementos de distribución sin revestir, ubicados en zonas de pendientes pronunciadas (2,5 a 3%) presentan menores pérdidas por infiltración. Esto se debe a que el agua fluye con mayor velocidad, como es el caso de la Unidad de Manejo Canal Matriz Este unificado.

La Eficiencia externa como dato de entrada para la modelación de la cuenca en WEAP

En la modelación de la cuenca en la herramienta WEAP, los datos de eficiencia externa permiten ajustar el modelo y dar mayor precisión en cuanto a los fenómenos reales en la distribución de agua. Ajustando así la cantidad real de agua distribuida en la oferta.

RECOMENDACIONES

Se deben continuar los trabajos de evaluación de la Eficiencia de conducción, por las aplicaciones que su comportamiento reporta⁶: para un adecuado diagnóstico y ajuste de los programas de mejoramiento e inversiones en infraestructura de conducción.