



INFILTRACIÓN Y EROSIÓN: SUS EFECTOS SOBRE LA RED DE CANALES A PARTIR DE LA REGULACIÓN DEL RÍO MENDOZA

**Autor Ing. Agr. Juan Gustavo Satlari
Director: Msc. Jorge I. Hernández**

**Trabajo Final Integrador para aplicar al título
de Especialista en Riego y Drenaje**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO
Facultad de Ciencias Agrarias**

MENDOZA, FEBRERO DE 2011

Infiltración y erosión: sus efectos sobre la red de canales a partir de la regulación del río Mendoza

RESUMEN

Esta monografía se enmarca en el manejo de los recursos hídricos en grandes redes de riego. En ella se describe el caso del río Mendoza, en la provincia homónima, el que fuera regulado en el año 2002. Este río nace en la Cordillera de los Andes, y presenta un importante arrastre de sólidos en suspensión, los que actualmente son retenidos en gran medida por el embalse Potrerillos. Las “aguas claras” que se erogan del embalse producen problemas erosivos, los que a su vez estarían ocasionando una mayor infiltración en los canales, y con ello un incremento en la recarga de acuíferos en ciertas zonas, así como problemas derivados del ascenso de la freática en otras.

Se citan procesos ocurridos en otros distritos de riego frente a la regulación de los ríos, para concluir que el del río Mendoza es un caso susceptible de sufrir ciertos perjuicios, ya señalados en la Manifestación General de Impacto Ambiental del embalse Potrerillos, los que actualmente se están presentando en la red de riego. A partir de los estudios de sedimentología en el río Mendoza, se hace un análisis técnico de los fenómenos asociados al cambio de las características físicas del agua. Luego se describen los procesos erosivos, de acuerdo con la hidráulica clásica.

Se define la Eficiencia de conducción (E_c), la infiltración en canales y su importancia en distintos distritos de riego, para luego mencionar los estudios realizados en el área del río Mendoza. Se analiza el desarrollo espacial que ha tenido el oasis, la escasa programación que tuvo su traza y la antigüedad de la misma. La descripción de los suelos permite concluir acerca de la importancia de su estructura y del papel que juegan las porciones finas, aún en minoría, que integran las distintas clases texturales con respecto a la E_c . Se describen los criterios con que se distribuye el agua en Mendoza, analizándose los caudales distribuidos actualmente, para relacionarlos con los niveles freáticos. Se mencionan además distintas acciones encaradas por la provincia para mitigar los efectos de las aguas claras.

El análisis de los métodos utilizados para medir la E_c , permite apreciar el estado de la ciencia al respecto. Un análisis de las ventajas y de las desventajas de los distintos métodos, y de los resultados que con ellos se obtienen, permite concluir que el método de entradas y salidas es el que mejor se adapta en Mendoza, incluyendo además aspectos metodológicos de la medición.

También se concluye en que la E_c está insuficientemente evaluada; las fracciones finas de los suelos en muchos casos gravitan más que la textura frente a la E_c ; por ello, se considera que el estudio de la E_c en las distintas áreas de manejo es necesario para entender los procesos de revenición y recarga de acuíferos, y que las pérdidas administrativas pueden gravitar más que la E_c . Se recomienda continuar con los trabajos de evaluación de E_c , al ser necesarios para todas las actividades en la cuenca; se desaconseja en este río el ajuste de modelos de predicción de E_c ; las características de los suelos obligan a interpretar y aplicar con criterio la bibliografía internacional, pero aún así no se pueden hacer generalizaciones acerca de de la E_c en Mendoza.

Palabras clave: *eficiencia de conducción, aguas claras, infiltración en canales, regulación*

INFILTRATION AND EROSION: EFFECTS ON THE MENDOZA RIVER CANAL SYSTEM SINCE ITS REGULATION

ABSTRACT

The case of the Mendoza River (Province of Mendoza, Argentina), regulated in 2002, is described within the overall framework of water resource management in large irrigation systems. With headwaters in the Andes, the Mendoza River transports a large volume of suspended solids, which are now retained in the Potrerillos Reservoir. The “clear waters” from the reservoir cause erosion problems which seem to induce higher infiltration in irrigation canals and, consequently, increased aquifer recharge in some areas and rising water tables in others.

Reference is made to river regulation processes in other irrigation districts to conclude that the Mendoza River irrigation district is likely to be negatively affected, as anticipated in the General Environmental Impact Assessment Report on the Potrerillos Reservoir, and some of these negative effects can already be observed in the irrigation system. A technical analysis of the phenomena associated with changes in the physical characteristics of water is made from sediment data on the Mendoza River. Erosion processes are also described in terms of classic hydraulics.

Conveyance Efficiency (E_c), canal infiltration and gravitation in several irrigation districts are specified and reference is made to other studies on the Mendoza River command area. Expansion of the oasis, poor planning of the canal system and period during which it has been in operation are also analyzed. A description of the soils in the area makes it possible to reach a conclusion on the importance of their structure and on the role that clays play. Water allocation criteria in Mendoza are described and flows currently distributed are discussed in relation to water table levels. Mention is made of several actions implemented by the government of Mendoza to mitigate the impact of clear waters.

An examination of the methods used to measure E_c makes it possible to assess the state of science in this respect. An analysis of the advantages and disadvantages of the various methods and of the results obtained leads to the conclusion that the input-output method is the best suited for this work in Mendoza.

It is further concluded that E_c is insufficiently evaluated and that, in many cases, finer soil fractions (clays) are more important than texture. It is therefore considered that the study of E_c is needed in the different irrigation management areas to understand waterlogging and aquifer recharge processes, and that administrative losses may weigh more than E_c .

All of the above led to the following conclusions: further studies on E_c should be conducted as E_c is necessary for all activities in the basin; it is not advisable to adjust E_c prediction models for the Mendoza River; soil characteristics render it necessary to interpret and use international bibliography with caution, though it is impossible to make generalizations about E_c in the province of Mendoza.

Keywords: *conveyance efficiency, clear waters, canal infiltration, regulation*

INDICE GENERAL

| | |
|---|----|
| RESUMEN..... | 2 |
| ABSTRACT | 3 |
| INDICE DE FIGURAS..... | 5 |
| 1 INTRODUCCIÓN | 6 |
| 2 ANTECEDENTES..... | 6 |
| 2.1 Río Mendoza como un caso susceptible de perjuicios..... | 6 |
| 2.1.1 Manifestación General de Impacto Ambiental (MGIA) y dictámenes | 8 |
| 2.2 Antecedentes del efecto de la regulación en el oasis irrigado..... | 9 |
| 2.3 Procesos observados en las redes secundaria y terciaria..... | 12 |
| 2.4 Sólidos en el vaso del Embalse | 14 |
| 2.5 Los procesos advertidos en otros sistemas de riego..... | 15 |
| 3 CAMBIO DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL AGUA: FENÓMENOS EROSIVOS..... | 18 |
| 3.1 Estudios de sedimentología..... | 18 |
| 3.2 El proceso erosivo en los canales..... | 19 |
| 3.3 Viscosidad cinemática:..... | 23 |
| 4 LA EFICIENCIA DE CONDUCCIÓN. IMPORTANCIA | 25 |
| 4.1 La Eficiencia de Conducción. Generalidades | 25 |
| 4.2 Eficiencia de conducción en el mundo..... | 28 |
| 4.3 Estudios antecedentes de Ec en Mendoza..... | 29 |
| 4.4 La EC en la distribución del agua | 32 |
| 4.5 La EC en la planificación y evaluación del agua | 33 |
| 5 EL CASO DEL RÍO MENDOZA..... | 34 |
| 5.1 Breve reseña histórica del desarrollo de la red de riego..... | 34 |
| 5.2 Suelos | 36 |
| 5.2.1 Descripción de suelos..... | 37 |
| 5.2.2 Textura y estructura de suelos:..... | 39 |
| 5.3 La administración del agua mendocina..... | 41 |
| 5.4 Caudales distribuidos en el río Mendoza. Relación con niveles freáticos. | 44 |
| 5.5 Acciones encaradas en la Provincia de Mendoza | 46 |
| 6 MEDICIÓN DE LA EFICIENCIA DE CONDUCCIÓN | 49 |
| 6.1 Métodos de medición de pérdidas por infiltración:..... | 50 |
| 6.1.1 Métodos directos:..... | 50 |
| 6.1.2 Métodos analíticos y empíricos..... | 54 |
| 6.2 Metodología Propuesta para el área regadía del río Mendoza | 56 |
| 7 CONCLUSIONES | 58 |
| 8 RECOMENDACIONES | 60 |
| <i>Bibliografía citada</i> | 62 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1- Transición con socavón | 13 |
| Figura 2- Fondo de Higuera erosionado..... | 13 |
| Figura 3- Fondo del cauce con canto rodado natural | 14 |
| Figura 4- Rama Mathus Hoyos: colapso de obra de arte y fondo natural en canto rodado | 14 |
| Figura 5: Cola de Embalse Potrerillos: sedimentación de los sólidos en suspensión | 15 |
| Figura 6 Caudales en Tunuyán Inferior | 18 |
| Figura 7 Caudales distribuidos en Río Diamante..... | 18 |
| Figura 8: Distribución de la fuerza tractiva en una sección | 22 |
| Figura 9: Analogía de la balanza de Lane (1955). | 23 |
| Figura 10 Viscosidad cinemática (ν) del agua a presión atmosférica del nivel del mar . | 25 |
| Figura 11: Curvas de nivel y zonas para descripción de suelos..... | 38 |
| Figura 12: Plano de texturas de suelos del área irrigada del río Mendoza..... | 40 |
| Figura 13 - Canal Naciente, con estación de aforo y sección telemétrica..... | 44 |
| Figura 14 Canal Flores: sección óptima para la medición. | 52 |
| Figura 15 - Canal Tulumaya: evaluando una sección para medir..... | 52 |
| Figura 16 - Rama Gil en Carbometal. Múltiples salidas..... | 53 |
| Figura 17 ADCP Integrando velocidad y área | 54 |
| Figura 18 Detalle de ADCP | 54 |

INDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1 Composición granulométrica de sólidos en suspensión del río Mendoza | 19 |
| Tabla 2 - Velocidades máximas permisibles (adaptado de Ven Te Chow, 2004) | 20 |
| Tabla 3: Estudios de Eficiencia de Conducción en el área irrigada del río Mendoza..... | 31 |
| Tabla 4- Infiltración básica en series de suelo del área regadía de Mendoza* | 41 |
| Tabla 5 Red primaria de distribución del río Mendoza..... | 43 |
| Tabla 6 Caudales recibidos y distribuidos en Cipolletti (Dean, 2010) | 45 |

1 INTRODUCCIÓN

El río Mendoza, abastece con sus aguas parte del oasis Norte, el más importante de la Provincia de Mendoza (DGI, 2005), donde se encuentra la mayor concentración de la población y las más significativas actividades económicas e industriales. La habilitación del dique embalse Potrerillos en el curso del río Mendoza en 2002 ha permitido la regulación de los caudales que se conducen aguas abajo de la obra. Tiene un derrame anual de 1460 Hm³, y un módulo medio de 46.3 m³/s. (DGI, 2005).

El dique Potrerillos con una capacidad de 450 hm³, es un regulador estacional que, al almacenar excesos estivales, permite suplir el déficit primaveral de la demanda agrícola y, además, posibilita la generación de energía. Está ubicado en la precordillera de los Andes, donde el río tiene una pendiente de 0,91 % (Oliva, 2006) y transporta una importante cantidad de sólidos en suspensión. Actualmente, esos sólidos en suspensión, son retenidos por el embalse que forma el dique.

En el centro oeste argentino, referirse a “aguas claras” conlleva un escenario como el descrito; un río regulado por un dique, en cuyo embalse sedimentan los sólidos suspendidos que aquel transportaba. El embalse eroga “aguas claras”, aguas que son distintas de las que ingresaron por no contener los sólidos en suspensión que transportaba el río en su condición previa.

A las “aguas claras” se les atribuye dos efectos principales: procesos erosivos, y aumentos de infiltración a través de los lechos de los ríos y de los canales no impermeabilizados. Consecuencia de ello, se deterioran las estructuras y el funcionamiento de los cauces y obras hidráulicas y se aumentan las pérdidas de agua por conducción, dando origen en muchos casos, a problemas de drenaje y de fertilidad en suelos, temas éstos que se tratarán más adelante.

2 ANTECEDENTES

2.1 Río Mendoza como un caso susceptible de perjuicios

Ya en los estudios previos para la construcción del dique, se preveía que el cambio en las características físicas del agua, producto de la retención de sedimentos en el vaso del embalse, podría favorecer los procesos erosivos en los cauces que la conducen, el aumento de la infiltración en los mismos y en las parcelas de riego, y también producir modificaciones en la recarga de acuíferos. Esos estudios, condensados después en la Declaración de Impacto Ambiental (MAyOP, 1998), indicaban que era necesario y obligatorio estudiar y hacer el seguimiento de distintos factores que vinculados a la presencia y funcionamiento de la presa pudiesen producir modificaciones ambientales. Ello, con la finalidad de prevenir y mitigar efectos negativos.

Con ese objeto, la Comisión de Seguimiento de la Declaración de Impacto Ambiental de Potrerillos (Salomón, 2001), definió una serie de Actividades Complementarias, y fue necesario hacer una serie de estudios ex-ante de la construcción de la presa, para establecer una situación de base respecto de una situación futura. La determinación de la eficiencia de conducción (**Ec**), fue una de las actividades primarias más significativas, por el sinnúmero de consecuencias que podría traer aparejadas el cambio en la condición de los canales. Entonces, antes del llenado de la presa, se realizó el estudio “Estimación de la Infiltración en Canales derivados del río Mendoza” (Hernández, 2002), producto de un convenio entre el INA y el Departamento General de Irrigación, y financiado por el Ministerio del Ambiente y Obras Públicas de la provincia de Mendoza (MAYOP).

También, la mencionada Comisión hizo hincapié en la necesidad de analizar los probables procesos erosivos. Sin embargo, en ellos sólo se trabajó en modelos de erosión en el río, y el laboratorio de Hidráulica del INA produjo el “Estudio de erosión en el río Mendoza aguas abajo de la presa Potrerillos”, INA, 2005. Sin embargo, en la red de riego se han reportado distintas alteraciones puntuales y verificables a simple vista como: problemas de erosión en canales y descalce de obras de arte, por arrastre de sedimentos finos. También, a los costados de algunos canales elevados por sobre el nivel del terreno se han podido observar encharcamientos, producto, seguramente, de una mayor infiltración originada en la extracción de sedimentos finos de sus lechos y taludes. Un mayor detalle de lo descrito se encuentra en el punto 2.3. “Procesos

observados en las redes secundaria y terciaria.; en él se detalla cómo en ciertas zonas, el proceso de erosión podría haber afectado la Ec.

2.1.1 Manifestación General de Impacto Ambiental (MGIA) y dictámenes

El cumplimiento de la ley 5961 de Preservación Conservación, Defensa y Mejoramiento del Ambiente, hizo que la Provincia de Mendoza sometiera la ejecución de la presa Potrerillos al procedimiento de Evaluación de Impacto Ambiental. El mismo recoge los aspectos más relevantes de los dictámenes sectoriales de los organismos involucrados. El proceso implicó la ejecución de la Manifestación General de Impacto Ambiental, (res 1589 –AOP -1998), la elaboración de los dictámenes sectoriales (res 1616 - AOP -1998) y del dictamen Técnico (res 1589 –AOP -1998). Luego se convocó a Audiencia Pública (res 1674 –AOP -1998). Todo este proceso participativo llevó a que la Provincia finalmente apruebe el Procedimiento de Evaluación de Impacto Ambiental de la obra “Aprovechamiento Integral del Río Mendoza – Proyecto Potrerillos” (Art 1º res 1784 –AOP -1998), y que se otorgue la correspondiente factibilidad ambiental (Art 2º res 1784 –AOP -1998).

En el apartado 1.2.6 de la MGIA de Potrerillos se menciona, entre los factores críticos que requieren especial atención, la necesidad de buscar las mejores soluciones a los efectos derivados de las “aguas claras”, y la reducción de sus impactos negativos.

Al analizar la estructura socio productiva actual del área regada con aguas del río Mendoza y la existencia de más modernas tecnologías de riego, la MGIA concluye (ítem 19.1) que los productores agrícolas, con distintos ritmos, podrían asumir la reconversión a nuevos sistemas de riego parcelario, ya que supone que regar **con agua limpia significa regar más y en forma más eficiente**. Por ello, estima necesario acompañar el cambio deseable con medidas de estímulo y sostén dirigidas a los productores.

En la etapa final del documento, Evaluación de los Impactos Ambientales, ítem 32.9.1. sólo se refiere a la complejidad de los aspectos vinculados a aguas claras, recarga de acuíferos y asignación del agua, que deben interesar a los responsables. Se supone que se refiere al DGI, pero es evidente que no se quiere profundizar en el tema.

Como conclusión, la MGIA si bien enuncia problemas de aguas claras e impactos negativos, no los analiza y sólo hace una evaluación positiva de las posibilidades de un riego con mayor tecnología.

En contraposición el DGI, cuando eleva su Dictamen Sectorial, “Aprovechamiento Integral de Potrerillos” (DGI, 1998) expresa en 4.3 Erosión Aguas Abajo del Embalse, que *“todos los análisis de sedimentación y erosión han sido evaluados con una importantísima falta de datos, y no se presentan medidas mitigadoras sobre la red de riego por el problema del agua limpia”*. El enfoque general del Dictamen del DGI, plantea distintos escenarios con y sin Potrerillos y con y sin Obras Complementarias, y mediante la corrida de un modelo de gestión, OPTIGES, termina expresando que en todos los escenarios planteados existen déficits, aún cuando centra su atención en la ejecución de obras en la red secundaria y terciaria. Plantea la necesidad de contar con series de mediciones y modelos calibrados a efectos de evaluar correctamente la interacción de aguas superficiales y subterráneas.

La Provincia solicitó a la Fundación de la UNCuyo (FUNC) la elaboración de un Dictamen Técnico de la MGIA de Potrerillos. Allí se repasan los 36 capítulos de la MGIA. Como este trabajo aborda lo escrito en la MGIA, respecto del tema de este trabajo interesa lo expuesto en los capítulos 1, 19, 32, que también está referido a la mayor posibilidad de cambio de tecnología de riego con el uso de aguas sin sedimentos.

La reflexión que se puede hacer en el tiempo es que en definitiva del tema de las aguas claras no se sabía demasiado y es posible que no se quisiera abordar para evitar discusiones que pusieran en peligro la ejecución de la obra, y es por eso que en la MGIA sólo se enuncia y se destacan aspectos positivos indirectos.

2.2 Antecedentes del efecto de la regulación en el oasis irrigado

Como en muchos temas que adquieren notoriedad pública, el depósito de los sólidos en suspensión en el vaso del embalse y la erogación de aguas sin ellos, dio origen a opiniones diversas, respecto de cuál sería el comportamiento del sistema

cuando las mismas fueran conducidas por cauces que discurren por terreno natural. Los opinantes, todos profesionales de reconocida trayectoria en la temática desarrollada, abordaron el problema de distinta manera, por lo que conviene repasar sus diversas aseveraciones:

Morábito et al, (2007) sostienen que un incremento en las pérdidas por infiltración en el lecho del río y en los canales resultará en una menor cantidad de agua superficial de riego; en las partes bajas de la cuenca, se observará un incremento significativo de la salinidad en la zona de raíces por el ascenso del acuífero freático somero.

Salomón et al (2001), cuando hace el análisis de los problemas encontrados en la DIA de Potrerillos, respecto de las aguas sedimentadas en el embalse, sólo menciona aspectos relacionados con aumento de infiltración, que provocarían fenómenos asociados a problemas de drenaje, recarga de acuíferos y salinización, sin mencionar los problemas de erosión.

Abraham, E (2007) sostiene que es aconsejable considerar en el análisis de la oferta hídrica los componentes y procesos que intervienen en el ciclo hidrológico, agregando luego que resulta aconsejable considerar la infraestructura hídrica como elemento de análisis de los aprovechamientos, ya que el agua debe medirse en tiempo real y diferido a lo largo de toda la cuenca. Su aseveración implica un adecuado conocimiento de la Ec y de los distintos parámetros antes de hacer algún tipo de pronóstico.

Torres (2000), sostiene que al tener un alto porcentaje de la red de canales sin impermeabilizar, hay un gran problema a resolver en el futuro inmediato debido principalmente a la necesidad de controlar las recargas al embalse subterráneo norte de la provincia. Esas recargas se verán incrementadas significativamente por el escurrimiento de aguas claras por la red de canales sin impermeabilizar. Con esto el autor está suponiendo que va a producirse una mayor infiltración en los lechos de los cauces sin revestir.

También se ha generalizado el concepto, que las “aguas claras” erogadas a partir de un embalse artificial poseerían una menor viscosidad y, por ende, ejercerían una

“mayor fuerza de desgaste que acelera la degradación erosiva de los canales de riego” (MARTÍN, F. (2002). Esto implicaría mayores pérdidas en los canales de distribución no impermeabilizados. Asimismo, las “aguas claras”, según el autor, disminuirían la fertilidad de los suelos, ya que entre los materiales finos retenidos en los fondos de los embalses se encuentra gran parte de los nutrientes que ellas aportaban. De esta manera, las aguas claras llegan a los canales de riego sumamente empobrecidas, y por otra parte también se sostiene que los impactos negativos del llamado "efecto de aguas claras" que se manifiestan en mayores infiltraciones en la red de distribución.

La primera de estas aseveraciones, hace una incorrecta relación causa efecto, (viscosidad – erosión) que tal como se explica más adelante, hay que precisar que la erosión está relacionada con la mayor energía cinética. Es importante sin embargo, resaltar en definitiva que avizora los problemas de erosión. En cuanto a la fertilidad, el agua del río Mendoza transporta limos jóvenes, que pueden hacer el aporte de Fósforo y Potasio, de acuerdo a lo explicado por Lipinsky y Maffei en consulta realizada en la Cátedra de Edafología de Facultad de Ciencias Agrarias de la UNCuyo.

El proceso de sedimentación en canales ha sido analizado en el Canal Coria, de Guanajato, México (Exebio, A., Palacios, E. Mejía E. y Carmona , V., 2005) , en el que a los efectos de ajustar la metodología para estimar pérdidas por infiltración, se extrajeron muestras para la determinación de conductividad hidráulica, se analizaron propiedades físicas, químicas e hidrodinámicas, análisis micro morfológico, se instalaron piezómetros y se evaluaron pozos profundos cercanos para observar el comportamiento de los niveles estáticos en el acuífero. La particularidad de este canal es que por su bajísima pendiente: 0,15 m ‰, en cada sección de riego el canal funciona como represa, lo que permite la sedimentación. Los autores expresan que por ese proceso de sedimentación se forma una capa, de 0 a 7 cm de profundidad similar a la de un lago o estanque, y que por debajo de esa zona se encuentra una capa más impermeable que no tiene rastros de iluviación¹ de arcillas u otros materiales, al realizar el análisis micromorfológico y no detectar materiales de la primer capa en la segunda analizada.

¹ La **iluviación** es el proceso de acumulación en un [horizonte](#) del [suelo](#) de elementos procedentes de otro. Los elementos migratorios son partículas de [arcilla](#), [óxido](#) de [hierro](#) y de [aluminio](#), [humus](#), etc., al estado [coloidal](#).

Esa primera capa que se menciona para los canales mexicanos de muy baja pendiente, no se ha observado en los canales mendocinos. Se recuerda que las pendientes locales (en tanto por mil), son del orden del 20 hasta el 1 ‰, en los sectores más llanos (contra los 0,15 ‰ del canal mexicano) y en Mendoza, sólo se ha observado una débil capa, una “baba resbalosa” que mencionan los tomeros (repartidores de agua), que, antes de la regulación del río, sólo adquiriría pocos mm de espesor, y es improbable que con los años hubiera formado una primer capa de baja permeabilidad, porque la limpieza anual, o monda, removía en parte esa capa, cuando se punteaban los cauces, por embanque o por formación de suelo vegetal, propio de las raíces de las forestaciones laterales de los cauces.

Pero en definitiva, el caso mexicano muestra que no observó iluviación de materiales de una capa hacia otra, es decir, por debajo de esa capa, los suelos no se hacían más impermeables por iluviación de partículas finas ingresadas desde la primera capa. No se ha encontrado un estudio similar para el río Mendoza.

En síntesis: la mayoría de los trabajos consultados pronosticaban mayores pérdidas por infiltración que producirían ascensos freáticos, recarga de acuíferos y salinización según la zona; también se menciona una disminución de la fertilidad de los suelos, y en uno de los trabajos se menciona la erosión de los canales, aunque atribuida a la viscosidad y no a la mayor energía cinética del agua. Lo concreto es que las aguas sin sedimentos, sin limos jóvenes i) *son menos fértiles*; ii) se producen *efectos erosivos*, y iii) hay *un aumento de infiltración*, todo esto variable según las características de la zona que se analice.

2.3 Procesos observados en las redes secundaria y terciaria.

El tema de la erosión en los cauces llevó al autor de la presente monografía a indagar acerca de sus experiencias a los gerentes de las Asociaciones de Inspecciones del río Mendoza y a los Inspectores de Cauce (autoridades de las organizaciones de usuarios).

Todos los entrevistados coincidieron al opinar que la erosión en canales históricamente estables es una nueva preocupación que se debe atender. Demetrio André, presidente de la 5° Asociación de Inspecciones de Cauce ubicados en Costa de Araujo y Gustavo André, menciona que se ha hecho necesario reforzar ciertos sectores, apuntando que antiguas tabla estacadas se han visto descalzadas por los procesos erosivos. Y que lo mismo ha ocurrido en un sinnúmero de obras de arte.

R. Thomé, Gerente Técnico de la 2° Asociación, menciona los inconvenientes ocasionados por los procesos erosivos producidos en la Higuera Nueva Coria sobre calle Bruno Morón, o los importantes problemas ocasionados en la higuera Villanueva, desde calle Maza hacia el Este, en el departamento Maipú.



Figura 1- Transición con socavón



Figura 2- Fondo de Higuera erosionado

En otros casos, las salidas de obras de derivación, en hormigón, muestran nuevos socavones en su transición a terreno natural, y en otras se han descalzado, lo que ha obligado a distintas obras de mantenimiento (Figura 3). También se han observado procesos de erosión y/o depósito de materiales de fondo, entre puntos fijos de estructuras estables, como puentes u otras obras de arte. Varios de estos problemas se han subsanado en forma inmediata para restituir o preservar el servicio de riego. En otros casos han sido motivo de proyectos de mejoramiento de envergadura. Es el caso de la Higuera Villanueva y el Canal Auxiliar Tulumaya, integrantes del Programa del Río Mendoza (DIRECCIÓN DE INGENIERÍA, DGI, 2010).



Figura 3- Fondo del cauce con canto rodado natural



Figura 4- Rama Mathus Hoyos: colapso de obra de arte y fondo natural en canto rodado

A su vez, este autor ha podido detectar que en lugares conocidos de la red, como lo son la Rama Sobremonte frente al chalet de Bassi en el Carril Cervantes, o el Canal Jarillal, frente a los portones del Parque, los cauces muestran su fondo en canto rodado, al igual que muchos otros canales, como el Chachingo, Naciente, Compuertas. (Figura 3). En sectores de canales sobre elevados que discurren por suelos sueltos se han producido filtraciones que se advierten en enlagnamientos del terreno a los costados de los mismos; algunos de esos sectores han sido revestidos, tal como ocurrió con un tramo de importantes filtraciones en el Canal Bajada de Araujo, antes de calle Estrella, y otros que están en obra, como en la hijuela Estrella y la hijuela Perfoga, en su recorrido por Carril el Carmen, del Departamento de Lavalle. Es en estos casos donde el proceso erosivo podría haber socavado una primera capa que habría existido antes de la regulación del río, con menor permeabilidad por sedimentación de materiales finos en suspensión.

Los fenómenos observados ratificarían la explicación aportada en punto 3.2. El proceso erosivo en los canales, ocasionados en todos los casos por el aumento de la energía cinética del agua, mayor velocidad que puede desarrollar el agua al no transportar los sólidos sedimentados en el dique Potrerillos. Si esa mayor velocidad, supera los límites de la velocidad máxima no erosiva propia de un cauce, el agua produce erosión.

2.4 Sólidos en el vaso del Embalse

Tal como estaba pronosticado, el proceso de sedimentación de los sólidos de arrastre y en suspensión se comenzó incluso durante la construcción de la presa, cuando se hizo el desvío del río. El depósito de los sólidos en suspensión en el vaso del embalse es observable a simple vista. En el sector distal del embalse se observa el depósito de los mismos, y también se observa el abrupto cambio de color marrón a transparente del agua que ingresa al embalse, que por efecto del reflejo del cielo, se ve celeste. Figura 5 Consecuencia del depósito de los sólidos en suspensión en el embalse, actualmente las aguas que circulan por los canales, no transportan sólidos en suspensión.

2.5 Los procesos advertidos en otros sistemas de riego

En Río Grande Project, New México, Texas, luego de la construcción de las presas Elephant Butte Dam, y Caballo Dam en 1917-1918, se anexaron a los contratos componentes específicos para la construcción de ramales de distribución y un sistema de drenaje, además de obras de almacenamiento y obras de derivación (Bureau of Reclamation, 2002). Se había producido una condición crítica de filtración que provocó ascensos de la tabla de agua subterránea en aumento. La construcción del sistema de drenaje, se inició en 1916. Se continuó con la reconstrucción y ampliación de drenajes, pero la solución definitiva fue la impermeabilización de nuevas laterales de riego, desde 1918 a 1929. Las mejoras en el sistema de conducción y el sistema de drenaje fueron las obras complementarias realizadas hasta 1930 que aseguran el control de las pérdidas por filtraciones. El sistema se mantiene con obras de mantenimiento periódicamente desde 1930. Este caso se ha citado en los antecedentes del río Diamante, en los reclamos hechos a la Nación para el revestimiento de los canales.



Figura 5: Cola de Embalse Potrerillos: sedimentación de los sólidos en suspensión

Problemas similares hubo que resolver cuando se construyeron los embalses reguladores en la parte superior de la cuenca en el Central Valley, California, al advertir que los problemas de filtraciones eran una consecuencia inevitable del desarrollo agrícola de las tierras (Warner y Hendrix, 1984) .

Luego de la regulación del Nilo en Egipto con la presa de Aswan, AHG (Aswan High Dam), el aumento de la eficiencia de conducción ha sido uno de los pilares del Plan de los Recursos Hídricos en Egipto (Water Resource Planning in Egypt). El plan también apunta, en sus distintos horizontes temporales de gestión, a la disminución del despilfarro de agua, y a la recuperación de tierras. Es evidente que la abundancia de agua que produjo la regulación del Nilo además de permitir el aumento de la superficie irrigada, trajo consecuencias indeseadas, tales como erosión de los canales y ascensos freáticos por el incremento de dotaciones de riego y aumento del área de riego. (Hvidt, M. 1998). Por otra parte, el mantenimiento y el diseño de canales aluviales estables requirieron importantes modificaciones. Antes de la presa, los sólidos en suspensión eran mayores a 3500 ppm, y ahora se cuenta sólo con 100 ppm. Ello ha motivado el ajuste de modelos que respondan a la nueva condición para la construcción de canales estables en tierra. (Bakry, M. and Khattab, A. 1992).

Para el caso del río Diamante, (Hernández, J. y Martinis, N. 2000) se detalla que la agricultura de esta cuenca ha sufrido las consecuencias de acciones perjudiciales tanto de origen climático como antrópico, y de ellas, el manejo de las “aguas claras” a partir de la habilitación de los grandes diques, ha producido importantes deterioros de suelos. Desde el punto de vista exclusivamente hídrico, exponen que es claro que las medidas a tomar deben estar vinculadas a una limitación de la infiltración del agua hacia los acuíferos, especialmente de canales y retornos de riego en zonas de confinamiento. Los autores, sin mencionarlo, se están refiriendo al río Diamante.

La Subdelegación de Aguas del río Diamante (1995) explica que el sistema hidroenergético Agua del Toro, Los Reyunos y El Tigre, retiene por sedimentación los sólidos en suspensión en los citados embalses, por lo que las aguas ingresan al sistema de distribución con la máxima energía cinética, ocasionando erosión en los cauces, arrastrando los materiales finos y facilitando la infiltración de las aguas. Termina

explicando que ello ocasiona un problema de revenimiento ocasionado por una mayor recarga del acuífero en la zona alta de riego por dos vías: la mayor recarga en el lecho del río y la elevada infiltración del agua conducida por canales e hijuelas.

En ese trabajo además se detalla (Pág. 32) que los impactos que produce son: 1) la erodabilidad de los terrenos en las zonas altas de riego; arrastre de partículas finas presentes en el perfil del suelo, lo que provoca cambios perceptibles en la composición textural de los suelos hacia texturas franco arenosas a arenosas; 2) aumento del nivel freático por la mayor infiltración del agua sin sedimentos; 3) esa intensa infiltración en los cauces ocasiona déficit en los sectores distales de los canales. Sobre estos 2 últimos impactos es que se apoya para hacer una valoración económica de los daños. Respecto del cambio de texturas, sólo se menciona en el trabajo, no se da mayor detalle, no se encuentra en la bibliografía, y por lo expuesto en otras partes de este documento respecto de la iluviación, sería conveniente una demostración científica el respecto.

El río Tunuyán, que luego de la presa reguladora Carrizal, abastece 75.000 has, desde 1971 también distribuye aguas sin sedimentos. El área irrigada conforma un abanico, y en los sectores medios y distales, los suelos se hacen cada vez más livianos (arenosos). La erosión y la filtración de los canales motivó que se las primeras inversiones realizadas con el PROSAP (Programa de Servicios Agrícolas Provinciales) con financiamiento de BID y Banco Mundial se realizaran en esa área. Los problemas de revenición se manifiestan en menor medida porque los turnados, planificados en cortos períodos y grandes caudales, entre 400 y 800 l/s, Figura 6Figura 5, y que hacen más eficientes los riegos. Al contrario, en el Río Diamante se distribuyen bajos caudales, en toda la red, y cada regante tiene turnos muy prolongados (Satlari, 2007), lo que favorece en definitiva la recarga de freáticas someras. Figura 7.



Figura 6 Caudales en Tunuyán Inferior



Figura 7 Caudales distribuidos en Río Diamante

3 CAMBIO DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL AGUA: FENÓMENOS EROSIVOS

3.1 Estudios de sedimentología.

Las aguas de un río que ingresan a un embalse suelen disminuir la velocidad. Si transportan sólidos en suspensión, es probable que los mismos sedimenten en lugares cercanos a la cola del mismo. Al alcanzar la cabecera del embalse, esas aguas generalmente ya no transportan los sólidos mencionados y luego, cuando son erogadas, tienen un comportamiento distinto al que tenían antes de su ingreso.

El cambio de las características físicas del agua, como consecuencia de la regulación del río Mendoza con la presa Potrerillos, es un fenómeno previsto en los estudios anteriores a ella. Esos estudios estuvieron, principalmente, dirigidos a evaluar el tiempo de colmatación de la presa, de especial importancia por la gran cantidad de sólidos que transporta el río. .

Las muestras de gasto sólido en suspensión se extrajeron desde 1963 a 1970 (Comité Conjunto Provincia de Mendoza – Agua y Energía Eléctrica, 1972), en la Estación de Guido, determinándose en laboratorio los valores de Tabla 1

Tabla 1 Composición granulométrica de sólidos en suspensión del río Mendoza

| Diámetro del material | Designación | %Parcial | % Acumulado |
|-----------------------|-------------|----------|-------------|
| Hasta 5 micrones | Arcillas | 8 | 8 |
| De 5 a 50 micrones | Limo | 32 | 40 |
| De 50 a 2 mm | Arena | 60 | 100 |

Además, se estimó que, para un derrame medio anual de 1551 hm³, serían 5.519.877 las toneladas de gasto sólido anual, las que con un peso específico aparente de 1,2 t/m³, y un volumen específico aparente de 0,833 m³/t serían 4.599.714 m³ = 4,6 hm³/año de reducción del volumen de almacenamiento del dique.

3.2 El proceso erosivo en los canales

“Los canales a cielo abierto se pueden clasificar en erosionables o no erosionables. A los primeros pertenecen los canales en tierra. Un canal en tierra puede estar estabilizado si la velocidad del agua está por debajo de su *velocidad máxima permisible o velocidad no erosionable*. Ésta es la mayor velocidad que no causará erosión en el cuerpo del canal. En general, los canales viejos y que han soportado muchos periodos hidrológicos permiten velocidades mucho más altas que los canales nuevos, debido a que un lecho viejo a menudo se encuentra mejor estabilizado, en particular con la sedimentación de materia coloidal” (Ven Te Chow, 2004). Esto último es lo que se interpreta que sucedía en los canales del área irrigada del río Mendoza antes de la regulación.

Más abajo y con fines prácticos, se ha incorporado a la monografía la

Tabla 2 (Ven te Chow, 2004), que muestra las velocidades permisibles en canales, con algunas adecuaciones. Se han convertido los valores de velocidades a m/s, y se ha anexado la columna de las variaciones porcentuales entre aguas limpias y aguas que trasportan limos coloidales, observándose diferencias importantes de velocidades permisibles.

Tabla 2 - Velocidades máximas permisibles (adaptado de Ven Te Chow, 2004)

| Material | agua limpia | | % de variación | Agua que transporta limos coloidales | |
|---|-------------|-------------|-------------------|---|-------------|
| | v Pie/s | v en m/s | | v Pie/s | v en m/s |
| Arena fina coloidal | 1,50 | 0,45 | 60 | 2,50 | 0,75 |
| Marga arenosa no coloidal | 1,75 | 0,53 | 70 | 2,50 | 0,75 |
| Marga limosa no coloidal | 2,00 | 0,60 | 67 | 3,00 | 0,90 |
| Limos aluviales no coloidales | 2,00 | 0,60 | 57 | 3,50 | 1,05 |
| Marga firme ordinaria | 2,50 | 0,75 | 71 | 3,50 | 1,05 |
| Ceniza volcánica | 2,50 | 0,75 | 71 | 3,50 | 1,05 |
| Arcilla rígida muy coloidal | 3,75 | 1,13 | 75 | 5,00 | 1,50 |
| Limos aluviales coloidales | 3,75 | 1,13 | 75 | 5,00 | 1,50 |
| Esquistos y subsuelos de arcilla dura | 6,00 | 1,80 | 100 | 6,00 | 1,80 |
| Grava fina | 2,50 | 0,75 | 50 | 5,00 | 1,50 |
| Marga gradada a cantos rodados, no coloidales | 3,75 | 1,13 | 75 | 5,00 | 1,50 |
| Limos gradados a cantos rodados coloidales | 4,00 | 1,20 | 80 | 5,00 | 1,50 |
| Grava gruesa no coloidal | 4,00 | 1,20 | 67 | 6,00 | 1,80 |
| Cantos rodados y ripios de cantera | 5,00 | 1,50 | 91 | 5,50 | 1,65 |

Lo descrito por la bibliografía clásica de hidráulica explica en parte los fenómenos de erosión que se están observando en la red de riego del río Mendoza, donde para un determinado suelo, después de más de 100 años desde su construcción, los canales se habían estabilizado, habían adquirido gran cohesión, y se ha estado conduciendo agua por debajo de las velocidades indicadas en la columna *Agua que transporta limos coloidales* de la Tabla 1, pero que son mayores que las permitidas con aguas claras (la columna variación porcentual muestra cuánto más lenta debe circular el agua en un canal en el caso que conduzca agua clara. Por ello los canales han permanecido estables por décadas, sin erosión. El depósito de sólidos en suspensión (entre ellos los limos coloidales) en el vaso de la presa reguladora, exige velocidades menores en los cauces aguas abajo.

Luego de la construcción del embalse, al mantener la misma red de riego, con las mismas pendientes y secciones de canales y transportar aguas limpias, en muchos canales o tramos de canales se ha observado un proceso de erosión que se puede atribuir a que dejó de cumplirse la condición de *velocidad máxima permisible o velocidad no erosionable*, por lo que se está produciendo la erosión de laterales y/o fondo de los cauces.

Esa erosión, en particular se ha advertido en los canales donde se han hecho mediciones de caudal con velocímetro, al advertirse los laterales erosionados, resultando que en la sección transversal del canal, en vez de verse rectos, se advierten cóncavos; como paréntesis. Eso se observa en canales que han tenido paredes rectas, con secciones que normalmente han tenido formas trapeciales. El fenómeno, corroborado en distintas Inspecciones de Cauce, llevó a indagar el proceso, y a continuación se exponen los fundamentos teóricos del mismo, y en el punto 2.3 *Procesos observados en las redes secundaria y terciaria.*, se expone una apretada descripción del proceso que se observa actualmente en los canales.

El proceso de erosión en los cauces, al superarse la velocidad máxima permisible o velocidad no erosionable, se debe al aumento de las *fuerzas tractivas*. Estas fuerzas se desarrollan cuando fluye el agua en un canal. Esa fuerza actúa sobre el lecho en dirección del flujo. La fuerza tractiva es simplemente el empuje del agua sobre el área mojada. También se la conoce como fuerza cortante o fuerza de arrastre.

$$\text{Fuerza tractiva} \quad \tau = wALS \quad \text{Ecuación 1}$$

donde w = peso unitario del agua
 A = Área mojada
 L = Longitud del tramo del canal
 S = Pendiente

El valor promedio de la fuerza tractiva por unidad de área mojada: Fuerza tractiva unitaria τ_0 es igual a:

$$\tau_0 = wALS \div PL \quad \text{Ecuación 2}$$

donde P = perímetro mojado
 R = Radio hidráulico,

$$\text{Y en definitiva:} \quad \tau_0 = wRS \tau \quad \text{Ecuación 3}$$

La fuerza tractiva unitaria en canales, salvo canales abiertos anchos, no está distribuida uniformemente a lo largo del perímetro mojado. Ven te Chow menciona los intentos de definirla, pero en definitiva, menciona que la distribución común de fuerza tractiva

responde a la de la Figura 8 y en general, en el fondo es cercana al valor de wyS (0,97), y en los lados cercana a 0,75 de wyS .

El cambio que se produce en los cauces por efecto de aguas que transportan sedimentos a aguas sin sedimentos implica que en el primer caso, el flujo de agua gasta parte de su energía potencial para transportar el material de arrastre y suspensión. En el segundo caso, sin sedimentos, esa energía potencial está disponible, al no gastarse en transportar sólidos. Esa mayor energía potencial del agua sin sedimentos, se transforma en energía cinética del agua, que adquiere mayor velocidad, para un canal con una pendiente dada.

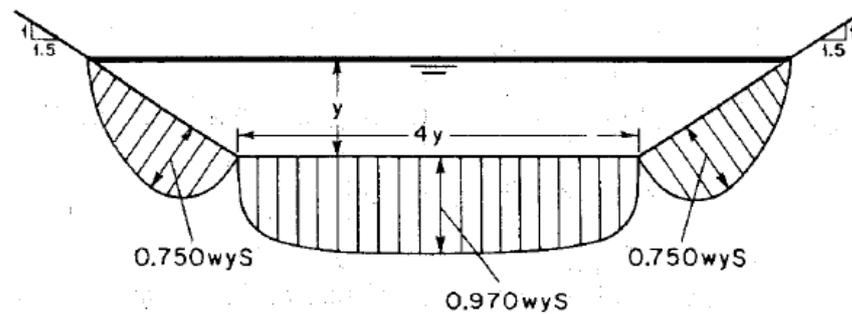


Figura 8: Distribución de la fuerza tractiva en una sección trapezoidal en un canal (Ven Te Chow, 2004)

Una herramienta sencilla para entender cualitativamente, aunque con limitaciones, el fenómeno de equilibrio de erosión es la Balanza de Lane (1955), que propone una relación entre cuatro variables: el caudal líquido unitario q , el caudal sólido unitario de fondo qs , la pendiente S (*i en el grafico*) y el tamaño del sedimento D :

La balanza permite determinar el comportamiento de un cauce si se varían sus condiciones de equilibrio natural de manera que, una variación en el peso (caudales unitarios líquido o sólido) o una variación en el brazo de palanca, pendiente o tamaño de la partícula, conducirá a un desequilibrio erosivo o de sedimentación. En la red de riego del río Mendoza, al haberse disminuido la cantidad de sólidos, el brazo de la derecha baja, y en consecuencia la balanza acusa mayor erosión.

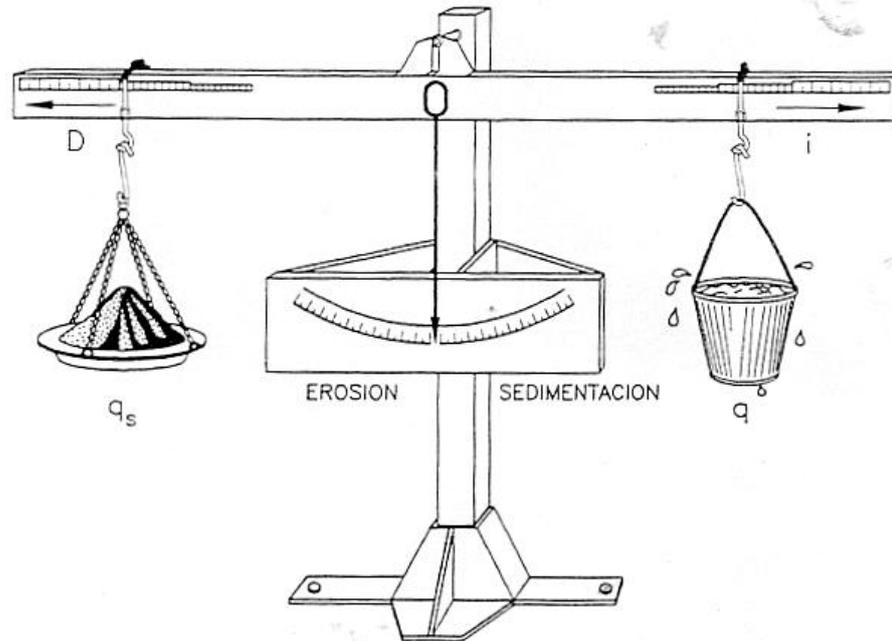


Figura 9: Analogía de la balanza de Lane (1955).

A partir de distintas relaciones que vinculan los parámetros que definen los conceptos de fuerzas tractivas, se desarrollan distintas fórmulas que se ajustan a los fenómenos erosivos, que definen el inicio del proceso, el tipo de erosión o depósito de sólidos, pero que escapan al objeto de este trabajo; Ven te Chow menciona las clásicas, y un detalle se puede encontrar en el desarrollo del trabajo de Schreider, M. Scacchi, M. et al. (2000)

Se considera conveniente puntualizar algunos conceptos básicos respecto de la viscosidad del agua para poder concluir respecto de su influencia o no en los procesos erosivos.

3.3 Viscosidad cinemática:

La viscosidad (Secretaría de Energía, 2010) es una magnitud física que mide la resistencia interna al flujo de un fluido, resistencia producto del frotamiento de las moléculas que se deslizan unas contra otras. La inversa de la viscosidad es la fluidez.

La magnitud de la viscosidad depende de la conformación química del fluido, de manera que a mayor proporción de fracciones ligeras, menor es la viscosidad. Este valor depende además de la temperatura ambiente, de forma que cuanto menor resulta ésta, más viscoso es un fluido.

Existen diversas unidades para definir la viscosidad, siendo las más utilizadas las descritas a continuación:

- Viscosidad absoluta: Representa la viscosidad dinámica del líquido y es medida por el tiempo en que tarda en fluir a través de un tubo capilar a una determinada temperatura. Sus unidades son el poise o centipoise (g/SegCm), siendo muy utilizada a fines prácticos.
- Viscosidad cinemática: Representa la característica propia del líquido desechando las fuerzas que genera su movimiento, obteniéndose a través del cociente entre la viscosidad absoluta y la **densidad** del producto en cuestión. Su unidad es el stoke o centistoke (cm^2/seg).

$$\text{Viscosidad Cinemática (CSt)} = \text{Viscosidad Absoluta} / \text{Densidad}$$

Es decir que cuanto más denso es el fluido, la viscosidad cinemática es menor (Figura 10).

La viscosidad es fuertemente afectada por la temperatura, pero sin embargo, el orden de sus unidades es de 10^{-6} , por lo que los cambios, magnificados en el gráfico por escalas usadas, no son significativos. Los cambios de temperatura del agua en invierno y verano, antes y después de la regulación son los mismos, o se podría especular que podrían ser menores si es que la transparencia del agua disminuye su calentamiento en comparación con el agua turbia.

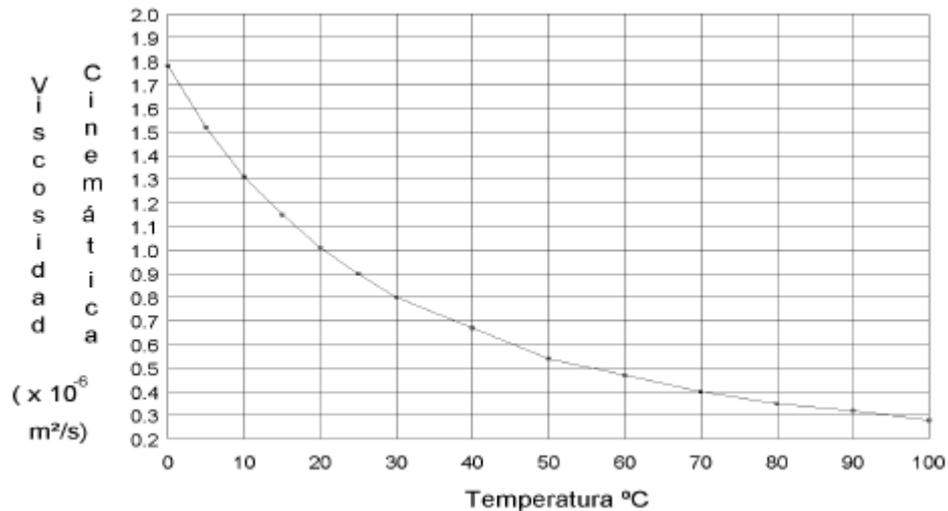


Figura 10 Viscosidad cinemática (u) del agua a presión atmosférica del nivel del mar

Como se ha visto en 3.2 la viscosidad no interviene en el proceso erosivo, donde si son importantes los elementos allí señalados y graficados en Figura 9. Por todo ello es que se interpreta que la viscosidad no afecta los procesos erosivos.

4 LA EFICIENCIA DE CONDUCCIÓN. IMPORTANCIA

4.1 La Eficiencia de Conducción. Generalidades

La eficiencia de riego es una relación porcentual que vincula la parte del agua que llega efectivamente a las plantas del total del agua entregada.

Se la puede dividir en:

- eficiencia de conducción, que representa la eficiencia del agua transportada por el canal y
- eficiencia de aplicación, que representa la eficiencia del agua aplicada en la parcela,

Los canales construidos sobre terreno natural y no impermeabilizados suelen ser aquellos que tienen eficiencias de conducción más bajas. Este sistema constructivo, tiene que sortear dos inconvenientes: la erosión y las pérdidas. El agua que se pierde en

el trayecto, la que no llega su destino, define la pérdida por conducción, puesto que ésta relaciona la pérdida con la dotación de un canal.

Los motivos por los que el agua ingresada no llegue a destino se pueden discriminar en: pérdidas administrativas y pérdidas por infiltración.

Las pérdidas administrativas, en ciertos casos, son de mayor significancia que las producidas por la infiltración a través de área mojada de un canal. Pueden tener distintos motivos, como derivaciones defectuosas, pérdidas en compuertas, asignaciones incorrectas producidas por deficiencias en los registros de usuarios, tiempos y dotaciones mal calculados, incorrecta calibración de elementos de medición, embanque o mal funcionamiento de aforadores, hojas partidoras parcialmente obstruidas o mal diseñadas, errores de operación de los repartidores, etc.

En el DGI en Mendoza se ha trabajado intensamente para disminuir las pérdidas administrativas, especialmente con referencia a la programación de los turnados y el uso de la infraestructura hidráulica disponible. Las tareas realizadas de capacitación para el ajuste e implementación de los cuadros de turno (Schilardi, 2007), las “Auditorías para la evaluación de las mejoras en la distribución en las Inspecciones de Cauce” (Satlari, 2007) y en general la “Capacitación a organizaciones de usuarios para optimizar el uso del agua” (Satlari, 2009), han tenido buen resultado en lo que se refiere a organización de la distribución y aprovechamiento de la infraestructura para la distribución del agua.

Con distinto grado de adopción de la tecnología puesta a disposición de las Inspecciones de Cauce, que son los operadores de la red secundaria de conducción del agua, las tecnologías implementadas muestran la trascendencia de las pérdidas administrativas y de lo que se puede mejorar con programas dirigidos a la mejor administración del agua, que complementan y aseguran los objetivos de las obras de revestimientos de canales. La correcta asignación del agua busca en definitiva disminuir las pérdidas administrativas.

En el desarrollo de este documento sólo se citan esos trabajos realizados, y la atención de este capítulo se enfoca en el agua que se infiltra en el perímetro mojado de los canales.

Volviendo a las pérdidas por infiltración en los cauces, las mismas dependen de su longitud, del tipo de suelos donde se encuentran trazados o la permeabilidad del lecho y de su estado de mantenimiento. Y se define como infiltración al movimiento del agua a través de la superficie del suelo, y hacia adentro del mismo, producido por la acción de fuerzas gravitacionales y capilares. Cuando un canal lleva mucho tiempo transportando agua y el suelo por el que está trazado se satura, las fuerzas capilares pierden importancia paulatinamente hasta llegar un momento en el que el movimiento del agua se produce sólo por la acción de la gravedad y la velocidad de infiltración se hace constante. (Aparicio, 1992). Esta velocidad de infiltración se define como infiltración básica. La textura del suelo, las porciones de partículas finas, la compactación, y la estructura son los factores que afectan las fuerzas gravitacionales.

Por su parte, Alam y Bhutta (2004), exponen que la infiltración es afectada por la antigüedad y la forma del canal, por la longitud de su perímetro mojado, por la profundidad del agua en el canal (altura del pelo de agua), por la proximidad de acuíferos freáticos o la presencia de fronteras impermeables en el subsuelo (filtración sujeta), y por la cercanía de drenes. Como factores de menor importancia menciona la viscosidad, la carga de sedimentos y su distribución de tamaño, la presencia de plantas acuáticas y la edad de canal.

Hasta aquí, en este trabajo, se ha tomado como eje de análisis a los canales que transportan agua para sus diversos usos; toda agua introducida en ellos y que no llegue a destino, se considera una pérdida, sea por infiltración o de origen administrativo. En cambio si el análisis se realiza para un área irrigada más extensa, que incluye varios canales, donde hay explotación de aguas subterráneas, áreas de surgencia natural, el agua que se infiltra en aquellos puede tener como destino i) freáticas someras salinas o ii) acuíferos profundos de buena calidad. En el primero de los casos, el agua infiltrada se suele salinizar y perder aptitud para su uso; efectivamente se pierde, no puede aprovecharse. En el segundo caso, el agua infiltrada puede ser recuperada en un lugar más bajo de la cuenca irrigada mediante su extracción por bombeo desde el acuífero. Las situaciones mencionadas se presentan en el área regada con aguas del río Mendoza, Sin embargo, el usuario de aguas transportadas por un canal, sólo centra su atención en

la disminución de su dotación (pérdida) y poca atención e interés presta al ciclo del agua.

En el oasis Norte, integrado por los ríos Mendoza y Tunuyán, los canales infiltran 363 Hm³, el 21 % del agua distribuida, y de ellos, 280 Hm³ se pierden hacia acuíferos freáticos someros salinos, y no pueden ser reutilizadas para riego, y 83 hm³ ingresan a acuífero libre, que puede ser aprovechados para riego (DGI, 2005).

4.2 Eficiencia de conducción en el mundo

El setenta por ciento del agua dulce en todo el mundo se usa para el riego (Hotchkiss et al., 2001, citado por Kinzli et al, 2010). Esta cifra es tres veces la cantidad utilizada para la industria y diez veces la destinada los usos doméstico y urbano (Hotchkiss et al., 2001).

El promedio de eficiencia de conducción en los Estados Unidos es del 78% (ITF, 1979, citado por Kinzli et al, 2010) y significa una infiltración de 104 millones de m³/día (Hersch y Fairbridge, 1998). A su vez esa infiltración representa diez veces el uso doméstico en EE.UU. (Hersch y Fairbridge, 1998).

La medición de las filtraciones en los canales de tierra de Pakistán ha demostrado que una considerable cantidad de agua se pierde; es baja la eficiencia de conducción (Alam y Bhutta, 2004). Esa baja eficiencia de conducción en los canales de tierra se ha estimado en un intervalo comprendido entre el 15 y el 45% del volumen total derivada a los canales de ese país (Van der Leen y ots., 1990).

Por otra parte, las pérdidas por infiltración de los canales en la ex URSS se han cuantificado entre el 40 al 50 % del agua transportada (Kacimov, 1992).

En la India, la pérdida por infiltración se ha estimado que representa el 45% del total del agua derivada en los sistemas de canales (Sharma y Chawla, 1979).

En el Lower Rio Grande Valley, la infiltración de los canales representa el 30-36% del total del agua desviada (Fipps, 2001). Aunque el autor aclara que la infiltración representa una porción significativa del total de agua derivada, una parte del agua se

recupera a través de un sistema de drenaje y puede ser reutilizada en ese distrito, tal como se menciona en el punto 2.5.

En el oasis Norte de Mendoza, el 20 % del agua distribuida se infiltra en los canales en terreno natural (Anexo 1. Aguas Subterráneas. DGI. 2005).

4.3 Estudios antecedentes de Ec en Mendoza

En la provincia de Mendoza hay pocos estudios de eficiencia de conducción, y no cubren todos los oasis. Hay estudios específicos de Ec en el área de riego de los ríos Diamante y Atuel realizados por el CRAS (Coria y Pazos, 1984), (Vivas y Poblete, 1986) y (Rodríguez y Velgas, 1989).

En el área irrigada con aguas del río Mendoza, Chambouleyron et al (1972) evaluaron la eficiencia zonal del río Mendoza, relacionando caudales distribuidos y superficies cultivadas.

Posteriormente, para el área irrigada por el río Mendoza y Tunuyán Inferior, se hizo una evaluación de eficiencia de uso externo (Chambouleyron et al, 1982). En este trabajo se hace una comparación de las láminas entregadas en la cabecera de un sistema compuesto por ocho canales, en las cabeceras de los ocho canales, en las cabeceras de sus hijuelas derivadas y en las tomas de las parcelas (propiedades) a regar. Las láminas de agua entregadas al sistema, a los canales, a las hijuelas y a las parcelas son el resultado de dividir los caudales que les son entregados por las superficies susceptibles de ser regadas en cada una de esas entidades. Al relacionar las láminas que ingresan con las que salen de cada cauce se obtienen las eficiencias de uso externo, que incluye a las pérdidas en la conducción y las de origen administrativo. Este método evalúa el manejo del agua, aspecto de suma importancia, pero justamente no permite la comparación con trabajos donde expresamente se pretende evaluar pérdidas por infiltración.

Con el objeto de estimar la relación porcentual del agua que infiltra en la red de riego del río Mendoza, el CRAS (Hernández, 1982) estimó la infiltración en su red secundaria; dato esencial para el ajuste de los modelos hidrológicos que desarrollaba.

Utilizó el método de entradas y salidas, midiendo caudales instantáneos usando molinete. Para la selección de los canales a aforar, realizó un muestreo aleatorio estratificado.

Como se explica en punto 2.1, antes de que se comenzase a almacenar agua en la presa Potrerillos y, como parte de las Actividades Complementarias de Potrerillos, el INA realizó las mediciones de caudales que dieron origen al trabajo “Estimación de la Infiltración en Canales derivados del río Mendoza, producto de un convenio con el Departamento General de Irrigación y financiado por el MAyOP (Hernández, 2002). Ese trabajo se realizó en diez canales y diez hijuelas derivadas de ellos, seleccionados de manera que representaran las distintas áreas de manejo del río Mendoza (Departamento General de Irrigación, 1997).

Por su parte, de acuerdo con la información suministrada por los profesionales del Departamento Hidrología del Departamento General de Irrigación (DGI) se han hecho estudios de eficiencia de conducción en varios canales, que han formado parte de distintos trabajos o han estado dirigidos a estudios previos de revestimientos. En la base de datos de la Dirección de Ingeniería sólo se archiva documentación gráfica de las obras, y luego de la búsqueda minuciosa en el depósito del Dpto. Hidrología con la colaboración de H. Luján y J. Abeyá, se encontraron trabajos de otros ríos mendocinos, estudios especiales, cálculos de curvas de gasto, anteriores a los que se citan en el próximo párrafo. En archivos digitales, de relativa actualidad sólo disponen de resultados de los estudios del canal Naciente.

Posteriormente, se realizaron estudios en canales del Departamento Lavalle, como parte integrante de obras de infraestructura, en cumplimiento de la Res 1371/2001 de componente de manejo en obras (DGI. 2001). Se cuenta con estudios de pérdidas en los siguientes canales e hijuelas derivadas: Canal Marienhoff, Canal Bajada de Araujo, Canal San Pedro y San Pablo y Canal Gustavo André (Perrone, R. 2004). También se realizó la medición en el Canal Concesión California (Bertoldi, E. 2004).

Un resumen de los trabajos históricamente realizados se expone en la Tabla 3.

En otro orden, la Asociación de Inspecciones de Cauce Primera Zona (ASIC 1ª Zona), para el ajuste del modelo ISAREG - software que permite evaluar el desempeño de la distribución hídrica mediante una aplicación metodológica del cálculo de necesidades de riego - y de acuerdo con estudios efectuados en la Higuera de 2ª Vistalba, estimó una pérdida por infiltración entre el 1 y 1,5 % por km en Cauce de Tierra (Salomón et al, 2001). Por otra parte en el mismo documento, se menciona que la eficiencia de conducción estimada en el área de trabajo es del 90% mientras que la de distribución no supera el 85 %. Esto lleva a que la eficiencia de conducción-distribución sea del 76,5% en esa área.

Tabla 3: Estudios de Eficiencia de Conducción en el área irrigada del río Mendoza

| | Hernández 1982 | Hernández 2002 | Estudios de Perrone y Bertoldi, 2004 | | | | |
|----------------------------|-------------------|-------------------|--|---------------|-----------|--------|------------------|
| | % perdidas/km | Distancia | % perd en tramo | % perdidas/km | Distancia | caudal | % perdidas/km |
| Canal Flores | | 3000 | 20,4 | 6,8 | | | |
| Higuera Thames | | 750 | 36,1 | 48,1 | | | |
| Canal Corvalán | 1,7 | | | | | | |
| Canal Compuertas | | 3000 | 20,1 | 6,7 | | | |
| Higuera 1ª de la Reta | | 650 | 18,9 | 29,1 | | | |
| 1º Vistalba | 2,7 | | | | | | |
| 2ª Vistalba | 2,1 | | | | | | |
| Hij Morales | 1,7 | | | | | | |
| Rama Matriz Gil | | 2500 | 5,6 | 2,2 | | | |
| Higuera Delgado | | 3000 | 16,2 | 5,4 | | | |
| Rama Jarillal | 1,3 | | | | | | |
| Rama Sobremonte | 0,7 | | | | | | |
| Hij. Algarrobal | 0,1 | | | | | | |
| Hij. Esteban | 0 | | | | | | |
| Canal Jocolí | | 7000 | 2,5 | 0,4 | | | |
| Canal Barrancas | 1,1 | | | | | | |
| Canal Naciente | | 5000 | 11,0 | 2,2 | | | |
| Higuera Vargas | | 900 | 29,8 | 33,1 | | | |
| Canal Chachingo | 1,8 | | | | | | |
| Rama San Roque | | 9500 | 25,5 | 2,7 | | | |
| Higuera San Roque | | 850 | 22,4 | 26,3 | | | |
| Canal Galigniana S. | | 7000 | 11,8 | 1,7 | | | |
| Higuera Norte | | 2000 | 31,2 | 15,6 | | | |
| Hij. Centro | | | | | 2719 | 255 | 5,19 |
| Hij. El Cano | | | | | 3246 | 381 | 3,72 |
| Hij. El Cano | | | | | 2632 | 318 | 7,89 |
| Canal Nueva California | 2,2 | | | | | | |
| hij. Marienhoff | | | | | 3000 | 760 | 1,8 |
| Canal Bajada de Araujo | | | | | | | |
| Hij Araujo | | | | | 2068 | 163 | 3,86 |
| Hij Lotero | | | | | 2921 | 76 | 1,82 |
| Hij Galvez | | | | | 2370 | 226 | 6,34 |
| Hij Morón | | | | | 3502 | 1342 | 11,92 |
| Canal S.Pedro y S.Pablo | | 2000 | 7,6 | 3,8 | | | |

| | Hernández 1982 % perdidas/km | Hernández 2002 Distancia | % perd en tramo | Estudios de Perrone y Bertoldi, 2004 % perdidas/km | Distancia | caudal | % perdidas/km |
|----------------------|------------------------------------|--------------------------------|--------------------|---|-----------|--------|------------------|
| Hijuela 2ª El Carmen | | 3100 | 28,8 | 9,3 | | | |
| Hij. Perfora | | | | | 3491 | 592 | 3,82 |
| Hij. Tres Hermanos | | | | | 1947 | 202 | 8,64 |
| Hij. El Guindo | | | | | 2360 | 290 | 8,33 |
| Hij. Confín | | | | | 1617 | 253 | 6,6 |
| Canal N. California | | 4500 | 25,0 | 5,6 | 2515 | | 6,6 |
| Hijuela nº 1 | | 6000 | 22,7 | 3,8 | 5990 | | 1,52 |
| Hij nº 3 | | | | | 3480 | | 1,55 |
| Hij nº 4 | | | | | 2900 | | 7,76 |
| Hij nº 5 | | | | | 2100 | | 11,49 |
| Hij nº 7 | | | | | 1725 | | 12,75 |
| Canal Gustavo André | 1,4 | 4100 | 32,2 | 7,8 | | | |
| Rama Nº 1 | | | | | 4632 | 885 | 8,61 |
| Rama nº 2 | | 1950 | 22,5 | 11,5 | 4720 | 1711 | 7,45 |
| Rama Nº 3 | | | | | 5816 | 1246 | 2,87 |
| Rama Nº 4 | | | | | 3596 | 462 | 13 |

4.4 La EC en la distribución del agua

El Canal Cacique Guaymallén (uno de los canales primarios), tiene muy variable estado de conservación, y los problemas de eficiencia de conducción se disimulan y compensan por los retornos de los canales que riegan hacia el Oeste de ese canal, y porque los últimos canales derivados, Jocolí y Tulumaya, además de recibir esos variables retornos y desagües, reciben efluentes cloacales tratados de la planta de Campo Espejo el Jocolí, y efluentes industriales y desagües de riego el Tulumaya. La precariedad del Canal Jocolí hace imposible una entrega ajustada de caudales.

Las Inspecciones de Cauce organizan sus cuadros de turno sobre la base del agua recibida en cabecera del canal, ajustando los tiempos a las superficies a regar. Lógicamente quienes están cerca de cabecera reciben más agua que los que están en la cola del canal, por estar éstos más afectados a las pérdidas de conducción y a las pérdidas administrativas, producidas por particiones inexactas y pérdidas de compuertas principalmente.

La mayoría de las Inspecciones elaboran sus cuadros de turno en planillas de cálculo o programas de diversa complejidad, pero en todas sería posible hacer un ajuste

por pérdidas de conducción para hacer equitativa la distribución, por lo que su conocimiento facilitaría los cálculos respectivos.

4.5 La EC en la planificación y evaluación del agua

No toda el agua que se infiltra en los canales se pierde. Sólo se pierde si se incorpora a freáticas salinas, como ocurre en los sectores distales del área regadía de la cuenca del río Mendoza. En los sectores iniciales o medios, en los que existe un acuífero subterráneo libre, el agua infiltrada en los canales alimenta tales acuíferos. Esta consideración es de importancia para los modelos de balance de aguas subterráneas, que deben tener en cuenta esta situación (Hernández, 2005). Es importante entonces considerar si el canal ubica en área de acuífero libre o con presencia de freáticas salinas. El ajuste de los modelos de aguas superficiales y subterráneas requiere de la determinación de la eficiencia de conducción.

Al respecto, como se mencionó al final de 4.1, en el oasis Norte, integrado por los ríos Mendoza y Tunuyán, los canales infiltran 363 Hm³, el 21 % del agua distribuida, y de ellos, 280 Hm³ se pierden hacia acuíferos freáticos someros salinos, y no pueden ser reutilizadas para riego, y 83 hm³ ingresan a acuífero libre, que puede ser aprovechados para riego (DGI, 2005).

Pero no sólo en modelos que simulan el movimiento del agua en el suelo interesa el destino del agua infiltrada en los canales; el uso conjunto del agua debe atender especialmente el destino del agua infiltrada en los canales, de aguas que se pierden en acuíferos salinos o muy profundos, y aguas que ingresan a acuíferos aprovechables. Estos últimos se suelen citar como flujos de retorno. Las inversiones en revestimiento de canales así como el precio final del agua se pueden optimizar atendiendo esta situación. Hay modelos empíricos dirigidos a la planificación de inversiones que la proporción de los flujos de retorno tiene un efecto significativo en el nivel de las inversiones en distribución de agua, tanto aguas arriba, donde se usan aguas superficiales, como aguas abajo, donde se usan los flujos de retorno (Umetsu, Chakravorty, 1998).

Al respecto, en la tercera sección del río Cachapoal en Chile, para obtener precisiones respecto del uso conjunto y la recarga de los acuíferos, se planteó 1) Entender el efecto de las filtraciones de los canales de riego en la recarga de los sistemas de aguas subterráneas; y 2) Identificar los patrones de interacción entre las aguas subterráneas y superficiales en esa región. En esa zona, la recarga de agua subterránea proviene principalmente de pérdidas de riego (22%) e infiltración desde los canales (52%), por esa razón es importante entender de qué forma las decisiones de manejo, como el revestimiento de canales, pueden modificar el balance de aguas (Arumí et al, 2009).

Cuando se planifica el mejoramiento de la red de distribución de agua, el conocimiento de la eficiencia de conducción es uno de los aspectos, no el único, a tener en cuenta. Interesa conocer si la red que se planifica se va a adaptar a futuras modificaciones de la ubicación espacial de las demandas, si se están produciendo cambios en el tipo de demandas (agrícolas a industriales o recreativas o poblacionales) a nuevas formas de entrega de agua, la consideración del destino del agua infiltrada: pérdida o ingresada a acuíferos aprovechables.

En definitiva, el conocimiento de la eficiencia de conducción es de importancia tanto para la operación de la red de riego, que asegure la equidad en la distribución; para la planificación, la conservación y el mejoramiento de la red, el establecimiento de programas de inversión, para la evaluación de las consecuencias de la infiltración del agua en los canales, en procesos de lavado de suelos, pérdidas económicas, ingreso del agua a distintos tipos de acuíferos y el efecto que en ellos produce, el ajuste de los modelos de balance de aguas superficiales y subterráneas.

5 EL CASO DEL RÍO MENDOZA

5.1 Breve reseña histórica del desarrollo de la red de riego

En su gran mayoría, la red de riego principal del río Mendoza no ha sufrido grandes variaciones desde principios del siglo XIX.

Los derivados del Canal Cacique Guaymallén han conservado su traza desde tiempos coloniales e incluso precoloniales. El Canal Cacique Guaymallén (Goazap Mayu) era administrado por los huarpes, y en cada derivación había asentado un jefe de tribu. La hijuela Allayme, desde el “tranguay” y luego por calle Tiburcio Benegas, abastecía a la antigua ciudad, luego hacer un amplio arco por la hoy calle Suipacha. En la Margen derecha del río había asentamientos hasta Agrelo (Ponte, 2005).

En documentos de 1764, se menciona la “sequia” de Coria, y de Vistalba, y ya era conocido el Tajamar.

En el Año 1778, el marqués de Sobremonte mandó construir el Canal del Estado (hoy Jarrillal), y por la otra margen derecha el Canal Tortugas (hoy Sobremonte), en lo que hoy se conoce como dique Carrodilla. A todo esto, el desagüe que se abrió en el Zanjón para evitar los perjuicios de las crecientes, con su pilar de división en el eje del curso (dique Pilar), evacuaba continuamente parte del caudal, yendo a formar ciénagas en Rodeo de la Cruz, en cuyo punto se establecieron cultivos, de modo que lo que en principio fue un ladrón o descargador, pronto se convirtió en un canal, que aún hoy conserva el nombre de Canal Desagüe (Vitali, 2005). (Hoy Dique Pilar y Rama Mathus Hoyos).

En 1821 el Sr. Pedro Molina mandó hacer un canal (hoy Canal Chachingo), y más adelante, el Sr. Pescara inició la construcción de otro, ubicado aguas arriba (Hoy Canal Naciente).

Corriendo el año 1.880, entre los hacendados Maximino Segura y Rodolfo Zapata, que poseían vastas extensiones de tierra en el Departamento del Rosario (hoy Lavalle), construyen el Canal Jocolí, que arrancaba de la vasta ciénaga de La Pega, que formaban los Zanjones del Sauce y Ciudad, se prolongaba por más de veinte kilómetros al Norte.

A fines del siglo XIX, Cipolletti construye el “dique” (azud Derivador) que hoy lleva su nombre, lo que permitió que a principios del siglo XX se optimizar el aprovechamiento de los desarenos del dique Cipolletti, y se construyen los canales Natalio Estrella y Gustavo André. La red de riego quedó entonces consolidada.

Las tierras disponibles a fines del siglo XIX eran escasas, y una importante corriente migratoria de franceses y marroquíes colonizó las ciénagas de Corralitos, construyendo una densa red de drenajes. (Chambouleyrón, 2001).

Todos los canales se construyeron excavando el terreno natural. Para darles estabilidad, la costumbre de forestar sus márgenes se constituyó en norma impuesta por la autoridad de aguas, como carga inherente a la concesión. Los suelos que atraviesan son de variada conformación, y las pendientes disminuyen sustancialmente desde cabecera hacia el Nor Este, tal como se describe en el capítulo 5.2 Suelos.

Esta breve reseña de la red de riego del río Mendoza sirve para aseverar que todos los canales tienen una antigüedad superior a los 100 años. Y más del 70 % de ellos una antigüedad superior a los 200 años. Si bien se han hecho mejoras progresivas, sólo en los últimos años se ha incrementado la impermeabilización de los canales.

En conclusión: Los canales que integran la red de riego del río Mendoza son antiguos. Las condiciones físicas se han mantenido desde su construcción hasta la construcción del embalse. La firmeza y solidez de los canales no se vio alterada desde que consiguieron su estabilidad. El mantenimiento de los cauces restituía las trazas originales, al hacerse la limpieza anual o monda, y como se ve en pag. 19: *El proceso erosivo en los canales*, se entiende que había un equilibrio entre la fuerza del agua que transportaban, la pendiente y la forma y el material natural con que se construyó el canal.

5.2 Suelos

Como se menciona en Pág. 49 y siguientes, la bibliografía que se ha consultado menciona que las características de los suelos, textura y estructura, son elementos importantes que pueden definir la cuantía de la Ec, y se considera que la descripción de las características de los suelos es un aspecto clave en el análisis de la Ec. en los canales excavados en terreno natural.

En concordancia con ello, se buscó la información antecedente, y luego de confrontarla con estudios específicos de pérdidas en canales (en punto 4.1) hubo que

indagar en otros parámetros para explicar los fenómenos que se observan en el área de riego en análisis. Para la descripción de suelos del área irrigada del río Mendoza, se consultó el anexo 7 del Plan Director de Ordenamiento de los Recursos Hídricos de la Provincia de Mendoza (DGI 2005). En ese documento esa área de riego se encuentra dividida en 4 zonas: Alta, Media, Baja 1 y Baja 2 como se puede advertir en la Figura 11 8. En la misma están marcadas las curvas de nivel, que permiten visualizar los cambios de pendiente, que en parte justifican la formación de estos suelos aluviales, en la medida en que los materiales más gruesos fueron depositados en la parte alta, y a medida que disminuye la pendiente, las partículas que se van depositando son de menor tamaño.

5.2.1 Descripción de suelos

Zona Alta

Los suelos pertenecen a la Serie Ciudad, Agrelo, Las Compuertas y Maipú (Romanella, 1957). Estos suelo tienen un perfil típico con predominio de tierra fina, con capas de textura arenosa y franco – arenosa, limosa y arcillosa soportada por gravas, cantos rodados; su origen es aluvial y coluvial; los terrenos están influidos por el piedemonte y la costa del río, con pendientes máximas del 2 % y 1 % al Este y Noreste y pendientes mínimas de Sur a Norte y de Sureste a Noroeste.

Zona Media

Los suelos predominantes pertenecen a dos Series: Las Compuertas y Maipú. La primera presenta una profundidad de tierra fina con predominio de capas de textura arenosa y franco – arenosa, sin concreciones salinas, soportadas por gravas a menos de tres metros de profundidad, a veces se hacen presentes desde la superficie, de origen aluvial y coluvial; presentan pendientes del 0,5 al 1 % y presentan drenaje abierto. La Serie Maipú presenta en profundidad tierra fina con predominio de capas compactas de textura areno – limosa y arcillosa sin concreciones salinas, soportadas por gravas; presentan pendientes al noreste de 1,5 % y de sur a norte del 1 %, que provoca un fuerte escurrimiento cuando predomina la textura arcillosa o limosa o compactado, como en Coquimbito, Maipú.

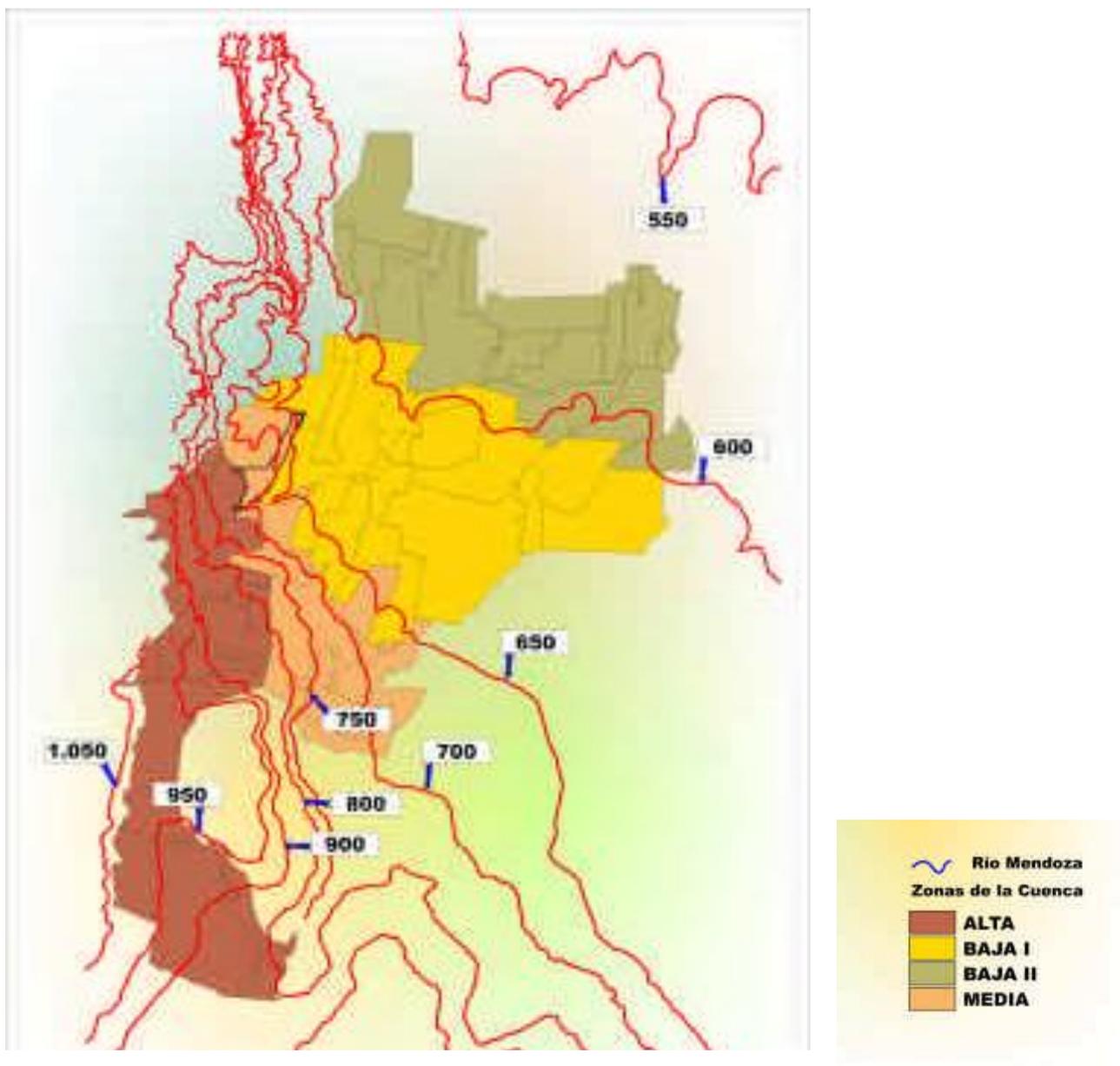


Figura 11: Curvas de nivel y zonas para descripción de suelos

Zona Baja 1

Los suelos son muy heterogéneos, así se presentan suelos de la Serie Barcala, que presenta un perfil de capa de tierra fina con concreciones salinas que descansa sobre hardpans, capas consolidadas que limitan la profundidad útil del suelo, constituidos por toscas calcáreas. La Serie Rodeo formada por un predominio de capas de textura arenosa – limosa, con o sin concreciones de estrías salinas que descansa sobre gravas saturados de agua freática, en superficie suele presentarse eflorescencias salinas. La Serie Corralitos es similar al anterior con sedimentos turbosos que originan acumulaciones de agua freática. La Serie Corralitos Norte está

formada por la acumulación de elementos de textura muy fina compuestos por yeso y calcáreo no estructurado rica en sales solubles, de origen lacustre, con poca pendiente. La Serie El Sauce está formado por capas de textura areno – limosa y arcillosa, ricas en yeso que descansan sobre tosca o sobre arcilla que originan acumulaciones freáticas. Finalmente la Serie Jocolí está formada por acumulaciones areno – limosa calcárea con capas de elementos finos con frecuentes falsas freáticas. La topografía es de llanura con muy débil pendiente al Norte y Noreste de 0,1 a 0,2 %

Zona Baja 2

Predominan los suelos de la Serie Lavalle y Tres Porteñas. El perfil típico de la primer serie se presenta con un predominio de capas de textura fina, con concreciones y estrías salinas sobre arcilla. En superficie son frecuentes las eflorescencias y costras salinas, formando suelos tipo Solonchaks. El drenaje es cerrado y solamente posible en las cercanías de los cauces. Hay una variante de origen eólico que consiste en presentar un apreciable espesor de arena. Son de origen aluvial y lacustre. El perfil típico de la Serie Tres Porteñas es de tipo médano con apreciable acumulación de arena interrumpida por capas de elementos finos con concreciones y estrías salinas; de origen eólico y aluvial. La pendiente en general es muy escasa de 0,1 a 0,16 % y los suelos presentan buen drenaje.

5.2.2 Textura y estructura de suelos:

Si bien la descripción del ítem anterior hace una clasificación general de los suelos, es también necesario remarcar la gran heterogeneidad textural que existe en cada una de las zonas descriptas. Cada canal suele atravesar varios suelos con diferentes texturas por lo que sus mayores o menores pérdidas son difíciles de vincular a una de ellas. El plano de texturas de suelos muestra la gran heterogeneidad de estos suelos (Figura 12). Se debe tener en cuenta además que los planos de suelos del área irrigada del río Mendoza son el producto de análisis de muestras extraídas con escala muy grande. La experiencia de la agronomía mendocina indica que aún en fincas de poca superficie se encuentran diferencias de texturas notables.

Se debe destacar que tanto en la zona alta como en la zona media a pesar de presentar texturas medias, se observa una baja infiltración básica, que en promedio es de 2,97 mm/h, y que no responden a ese tipo de suelos. El detalle de las infiltraciones básicas obtenidas en 99 mediciones de eficiencia de riego, se ha extraído del trabajo de Morábito (2003) siguiendo la clasificación de suelos de Romanella. Los valores para cada serie de suelos se exponen en Tabla 4. Se debe observar que el valor de la serie Sauce Jocolí, de 7,28 sube el promedio general, en el resto de las series, el valor de la Infiltración básica es bajo, y es el que determina en definitiva la infiltración en los canales.

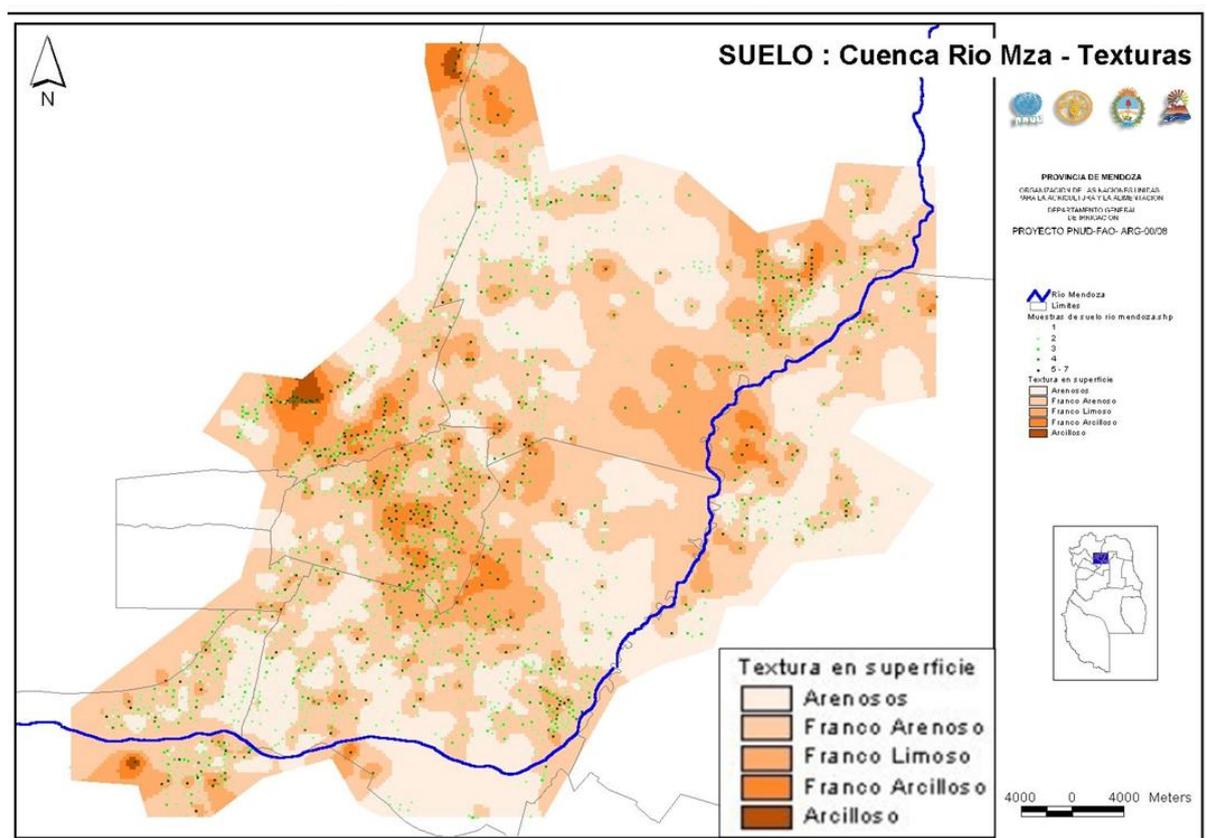


Figura 12: Plano de texturas de suelos del área irrigada del río Mendoza

La utilización de valores de textura para realizar una estimación de la conductividad hidráulica de un suelo puede llevar a errores de magnitud. Esto es debido a dos causas principalmente: dentro de una textura determinada, los contenidos de arena, arcilla y limo pueden variar dentro de intervalos relativamente grandes. Además, los componentes gruesos junto con las raíces y la propia estructura del suelo tienen un efecto final en el transporte de agua en suelos mucho más importante que la propia composición textural. (García Sinova et al, 2001)

Al respecto, en consultas realizadas a los Ing. Lipinski y Maffei de las Cátedras de Química Agrícola y Edafología de la UNCuyo, explican al respecto que esos suelos, que no tienen estructura, presentan fracciones de limos y arcillas que han entarquinado la porosidad de la arena fina que los conforma en mayoría, comportándose, frente a la infiltración como suelos pesados.

Tabla 4- Infiltración básica en series de suelo del área regadía de Mendoza*

| Serie | Infiltración básica (mm/h) |
|---------------|----------------------------|
| Compuertas | 1.49 |
| Ciudad | 4.51 |
| Barcala | 1.33 |
| Sauce Jocolí | 7.28 |
| Lavalle | 3.82 |
| Maipú | 1.97 |
| Tres porteñas | 2.69 |
| GENERAL | 2.97 |

* extraído de Morábito, 2003

En definitiva se ha descripto las diferentes pendientes en las 4 zonas descriptas, la gradualidad general hacia suelos livianos, y además, la heterogeneidad de las texturas de los suelos en el interior de cada una de las zonas descriptas. Debe resaltarse especialmente lo expresado en el párrafo anterior: la relevancia de la falta de estructura de los suelos. Este factor es determinante para interpretar el comportamiento de los suelos mendocinos frente a la infiltración. Es por ello que la bibliografía internacional debe leerse con cuidado de no hacer generalizaciones que llevan a conclusiones equivocadas, y, por lo menos en Mendoza, advertir que la importancia de cada uno de los factores que determinan las pérdidas en los canales.

5.3 La administración del agua mendocina

La administración del agua en Mendoza está a cargo del DGI. Este organismo opera la red primaria, y entrega el agua a organizaciones de usuarios denominados

Inspecciones de Cauce, quienes la conducen por cauces de las redes secundaria y terciaria hasta las tomas de las parcelas a regar.

Para la distribución del agua el DGI hace una serie de operaciones previas:

- 1) **pronóstico de escurrimiento anual:** lo elabora el DGI para todos los ríos de la Provincia mediante la observación de la nieve caída en el invierno en carreras nivológicas en alta montaña. Ese pronóstico en realidad es una extrapolación de la medición de la nieve caída complementada con correlaciones de superficies cubiertas, imágenes satelitales.
- 2) **Programa de erogación:** establece el volumen a erogar mes a mes en cada uno de los ríos provinciales. Tiene en cuenta:
 - a. el pronóstico de tiempo a mediano plazo (las oscilaciones de El Niño),
 - b. Volúmenes embalsados;
 - c. Solicitudes de generación óptima de empresas hidroenergéticas;
 - d. Demandas de población, de industria y riego;
 - e. Minimización de riesgo aluvional observando el estado de los embalses reguladores,
- 3) **Atención de demandas prioritarias:** en el caso del río Mendoza hay una demanda promedio para población e industria de 6,5 m³/s. Además, durante los meses de invierno, durante los cuales se realiza la corta anual para permitir el mantenimiento de las obras de las redes, se debe mantener una dotación especial de 8 m³/s para proveer de agua de refrigeración a la Central Térmica que se encuentra sobre la margen derecha del río Mendoza, aguas arriba del dique derivador Cipolletti, cabecera del sistema de distribución
- 4) **Volumen disponible para riego:** surge de la consideración del volumen mensual a erogar descontados los usos prioritarios de población e industria.
- 5) **Coefficiente de riego:** se obtiene del cociente entre el caudal disponible para riego y la superficie a regar, que en el caso del río Mendoza es variable porque se considera la superficie con derecho de riego que está al día con el pago del canon de riego. Se expresa en l/s/ha.
- 6) **Caudal a entregar en cabecera de canal secundario:** el coeficiente de riego, multiplicado por la superficie al día con el canon de riego en el canal considerado, es el caudal que entrega el DGI a las Inspecciones de Cauce en cabecera de canal secundario.

El sistema primario de distribución de agua en el río Mendoza, está constituido por un azud derivador sobre el río Mendoza (dique Cipolletti). Tiene dos tomas principales. Una abastece por medio de un sifón a tres canales de margen derecha en la zona de Agrelo y Perdriel que junto con tomas directas anteriores al dique cabecera totalizan 8792 has empadronadas. La otra deriva el agua hacia margen izquierda por medio de un gran canal Matriz, del que a los 6 km nacen los dos grandes canales primarios de este sistema: el Canal Cacique Guaymallén y el Canal San Martín, al que se lo ha dividido en la Tabla 5 5 en 2 tramos.

Tabla 5 Red primaria de distribución del río Mendoza

| Canales | Superficie regada (has) | Cauces derivados | Porcentaje de recaudación |
|---------------------------|-------------------------|------------------|---------------------------|
| Margen derecha y cabecera | 8792 | 7 | 94 % |
| Canal Cacique Guaymallén | 34510 | 15 | 90 % |
| Canal San Martín Superior | 14489 | 9 | 79 % |
| Canal San Martín Inferior | 27319 | 14 | 88 % |
| TOTALES | 85110 | 45 | 85 % |

Las Inspecciones de Cauce, que reciben el agua desde el canal primario en cabecera de canal secundario, son organizaciones de usuarios, descentralizadas del DGI. Tienen la facultad de elegir sus autoridades y administrarse y son jueces de agua en primera instancia, son responsables del mantenimiento y la conducción en canales secundarios y la distribución del agua en canales de menor orden, llamados hijuelas, entregando el agua a cada usuario.

Reciben el agua entregada por el DGI desde los canales matrices, y disponen de estructuras de control. Figura 13. Para distribuir el agua a cada usuario, deben confeccionar el padrón real de usuarios, que es el listado de usuarios que están en condiciones de regar: sólo se incluya al usuario con concesión o permiso que lo habilite y que esté al día con el pago del canon de riego, en concordancia con el criterio del DGI. Con ese padrón real de usuarios se elabora el cuadro de turnos respectivo, que define el orden de riego y el tiempo que dispondrá el agua cada usuario, todo ello de acuerdo con el Art. 8 de la ley provincial 6405 y la Res. 394/S/96 del DGI.



Figura 13 - Canal Naciente, con estación de aforo y sección telemétrica

5.4 Caudales distribuidos en el río Mendoza. Relación con niveles freáticos.

Tal como lo resume la MGIA en la introducción, la construcción de la presa Potrerillos planteó entre sus principales objetivos *incrementar la oferta de agua superficial especialmente para riego*. Este concepto estaba especialmente centrado en el período primaveral, época del año en que se producían importantes déficit. En verano, los picos de crecidas que antes no era posible aprovecharlos, hoy es posible almacenarlos para suplir los faltantes primaverales mencionados.

La observación de los caudales distribuidos, expuestos en

Tabla 6, permite observar que los volúmenes anuales distribuidos no han variado mayormente desde antes de la regulación, y para los 4 períodos en que el embalse ha funcionado a pleno (se terminó de llenar en 2005) se distribuyen en promedio 1265,05 hm³/año de los 1601,7 hm³/año que en promedio llegan a Cipolletti (Dean, H. 2010). Ello debido a que la red de distribución no admite el ingreso de mayores caudales, si en cambio ajustar las entregas a la demanda que se establece desde la Jefatura de Operación.

El Plan Hídrico Provincial (DGI, 2000), consigna que el caudal posible de distribuir en el río Mendoza era de 1278 hm³/año, valor semejante al distribuido luego de la regulación. Sin embargo, la diferencia con río regulado radica en que hoy es posible suplir los déficits de primavera, y no hay una sobre dotación en verano en los canales del canal San Martín Inferior, al poder derivarse desde Cipolletti sus caudales, .

Tabla 6 Caudales recibidos y distribuidos en Cipolletti (Dean, 2010)

| ciclo | total Cipolletti | distribuido |
|----------|------------------|-------------|
| 2005/6 | 1875,9 | 1401 |
| 2006/7 | 1641,2 | 1260,5 |
| 2007/8 | 1255,8 | 1113 |
| 2008/9 | 1633,9 | 1285,7 |
| Promedio | 1601,7 | 1265,05 |

De acuerdo con lo observado en la freaticimetría para río no regulado (Ortiz Maldonado, 2004), ante un mayor volumen para distribuir, y similares condiciones de demanda, podrían aumentar los problemas de drenaje. Eso se puede suponer al interpretar lo expuesto por el autor, para río no regulado, que hace una relación porcentual entre agua ingresada a la red, demanda, y la consecuencia en la variación de niveles freáticos. Pero al momento, las especulaciones hechas respecto de un aumento de revenición por aumento de caudales distribuidos, para la corta serie de caudales distribuidos, son infundadas: no ingresa más agua a la red, y tampoco hay mediciones de Ec. en los canales después de regulado el río que justifiquen una mayor infiltración de canales.

Al respecto conviene mencionar que en los distintos documentos antecedentes de la regulación del río se trabajó con valores de eficiencia de riego “actual” o realmente medida² No se planteó una mejora en la eficiencia en el uso del agua ni en la “eficiencia razonable”, tal como se ha propuesto a la Honorable Legislatura (DGI, 2007), apoyada en mediciones de eficiencia (MORÁBITO, J. 2003). En el trabajo presentado a la Legislatura, se objeta que hacer el balance del río entre toda el agua que se distribuye, y relacionarlo luego con la demanda, y luego afectarlo por el valor de la eficiencia de riego actual, al hacer un balance, necesariamente, va a dar cero:

² En el Dictamen Sectorial del DGI, se hace un minucioso balance, se plantean escenarios de demanda, en los que siempre “existen déficit” Hoy, a la luz del concepto de eficiencia razonable podría no mantenerse tal aseveración.

toda el agua que se entrega menos toda el agua que se usa (con la eficiencia actual) da cero. Aquel razonamiento pone un cerrojo al otorgamiento de nuevas concesiones o mejora de categoría de los derechos. Por eso se incorpora el concepto de eficiencia razonable, que es un valor de eficiencia que pueden alcanzar los agricultores sin mayores inversiones. Este concepto de la eficiencia razonable no se había desarrollado cuando se hicieron las evaluaciones previas a la regulación de Potrerillos.

En definitiva, al analizar la problemática de las aguas claras es de importancia observar que luego de la regulación del río, en estos primeros años no se distribuye más agua en la misma superficie empadronada, y por lo analizado por Ortiz Maldonado, hay una directa relación entre agua distribuida, demanda y ascenso freático, al no conocerse si hay aumento de pérdidas en los canales, tampoco se sabe si la relación determinada ha sufrido variación luego de la regulación, y al contar con la posibilidad de regular los caudales que se asignan para riego se puede replantear las asignaciones para riego considerando los conceptos expuestos de eficiencia razonable.

5.5 Acciones encaradas en la Provincia de Mendoza

En la Provincia la problemática de las “aguas claras” ocupa a los distintos niveles de gestión, desde fines del siglo pasado.

En San Rafael, departamento del sur de la provincia de Mendoza, a mediados de la década de los '80 del siglo pasado, se comienza a gestar un reclamo por los problemas que las “aguas claras” de los diques Nihuil, sobre el río Atuel y Agua del Toro y los Reyunos sobre el río Diamante, habían comenzado a producir en las áreas regadías respectivas. En respuesta a las alteraciones observadas en esa área irrigada, el CRAS hizo estudios para la determinación de la Ec (Balaguer, H. y Velgas, M. 1987); (Rodríguez, T. y Velgas, M. 1989).

En el informe “Fenómeno Aguas Claras” (Magnani, C. et al.1995) producido en San Rafael, se cuantificaron los daños producidos por el anegamiento de suelos (problemas de drenaje), derivados de las excesivas filtraciones de canales y cultivos,

y la salinización de los suelos; se justificaban ambos procesos en la falta de materiales entarquinantes de las aguas, después de regulado el río Diamante. Se explica cómo en su área irrigada los materiales finos en suspensión, al introducirse en los suelos livianos que forman los canales bajaban sensiblemente su permeabilidad.

La Municipalidad de San Rafael inició en 1999 un proceso judicial contra la Nación, por el perjuicio de las “aguas claras”, consecuencia de la construcción de presas para la generación de energía sobre los ríos Diamante y Atuel. El trámite está actualmente en la Suprema Corte de Justicia de la Nación, y tiene curso favorable, de acuerdo con la información periodística sobre el tema: (Diario Los Andes, 27/11/09) y (Mdzol.com), diario San Rafael (28/12/09, 8/1/10 y 11/2/10).

El antecedente del reclamo sanrafaelino, de conocimiento público, provocó que ante la factibilidad de regulación del río Mendoza, regantes y funcionarios tuvieran una posición novedosa: la obra de regulación sólo sería aceptada si llevaba una mejora en los canales de riego.

Para sortear esta postura, por Decreto Provincial N° 400/97 se le encomienda al DGI que ejecute los estudios que permitan establecer, en forma preliminar, las obras complementarias a la presa a realizar en el sistema de distribución y aplicación del agua en el Valle del Río Mendoza. Este requerimiento se basaba en la idea de que el aprovechamiento no sólo comprende la construcción del embalse, sino también que requiere otros proyectos de adecuación de la actual infraestructura. Se planteaba que, si no existe una infraestructura rediseñada de acuerdo a las nuevas condiciones, será difícil que se alcancen los beneficios de la mejora: de la garantía de riego, de aumento de eficiencia, de conservación de los suelos, de protección de los acuíferos, garantía de servicio moderno a la agricultura, de los servicios de agua potable, industriales e hidroeléctricos.

En cumplimiento de lo dispuesto por el mencionado Decreto, el DGI presenta en julio de 1997 un primer estudio en donde se establece un balance de los recursos disponibles y de los distintos escenarios de demanda. Luego se realiza un análisis de la aptitud y necesidad de mejora de cada una de las distintas áreas de manejo en el

oasis regado por el río Mendoza para luego establecer las distintas estrategias de desarrollo y adaptación de su sistema de gestión del agua a las nuevas condiciones asociadas a la regulación del río.

Estos estudios permiten que el DGI formule en septiembre de 1997 el “Programa de Obras Complementarias al Dique Potrerillos”. Allí se detallan las obras mínimas necesarias para mitigar el efecto negativo de las aguas libres de sedimentos que han de soltarse del embalse proyectado, así como también las necesarias para asegurar la elevación de la eficiencia de uso del agua, de modo de reducir el importante déficit de agua superficial que sufren las distintas áreas de manejo del río Mendoza.

El mencionado Programa de Obras Complementarias al Dique Potrerillos, presenta a las obras propuestas agrupadas en las 6 Asociaciones de Inspecciones de Cauce. El Programa es puesto a consideración de los usuarios y del Gobierno de la Provincia, los que luego de un debate público muy fructífero, en octubre de 1997 acuerdan firmar un acta compromiso todos los Inspectores de Cauce del río Mendoza, en el cual, en representación de los usuarios, se comprometen a reembolsar la cuota parte que les corresponda de la ejecución de las obras por un monto de 146 millones de pesos en un plazo de 25 años.

Las obras ejecutadas en la red de canales derivados del río Mendoza, que se reformula y ajusta anualmente y se considera que en general representa la ejecución del programa mencionado, ha tenido un ritmo de inversión sostenido. Desde 2001 a 2009, se ha realizado una importante inversión en obras de infraestructura, que a valores actualizados a julio de 2010 es de \$ 66.302.538, con una cotización de 3,92 \$/U\$. (HTA del DGI, 2010)

La Cámara de Diputados de la Provincia en 2008 dio media sanción al proyecto de “Ordenamiento Territorial del Perilago de Potrerillos” (Cámara de Diputados, 2010). En ese proyecto de ley, se prevé la creación de un Ente de Administración conformado por representantes de distintos organismos provinciales. Se prevé que “el 25% de los Recursos ordinarios y extraordinarios del Ente de Administración se destinará a la realización de obras de impermeabilización de

canales y mitigación del efecto de aguas claras, en la zona irrigada aguas abajo de la Presa, como aporte no reembolsable al Plan de Obras Complementarias del Dique Potrerillos”. Agrega además que “prioritariamente se aplicarán estos fondos en la zona norte de la Provincia, y con mayor impacto por pérdidas por infiltración, contaminación, niveles altos de freática y salinización de suelos”.

Como conclusión de este capítulo, se advierte que se han hecho variados pronósticos, se han tomado distintas prevenciones y se han concretado distintas acciones respecto de los efectos de las aguas claras, de los que hay unos plenamente justificados, hay otros que convendría fundamentar en forma adecuada, en otros provienen de un análisis parcial y también se aseveran fenómenos ex post que requieren una mejor verificación, como es el aumento de la infiltración en los canales. Como se ve más adelante, el plan de inversiones ejecutado ha venido a solucionar el problema de la erosión, no demasiado observado antes de la regulación del río.

6 MEDICIÓN DE LA EFICIENCIA DE CONDUCCIÓN

Tal como se menciona en distintos trabajos, las pérdidas por infiltración pueden medirse directamente o estimarse en base a procedimientos analíticos y empíricos.

Estas pérdidas se expresan comúnmente (Grassi, 2001) como:

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

Siguiendo al mismo autor, desde el punto de vista de las condiciones hidrodinámicas del flujo de filtración, cabe distinguir entre infiltración libre e infiltración sujeta. La infiltración libre ocurre cuando el acuífero freático y su capa

capilar, se encuentra a profundidad tal que no ejerce influencia sobre la infiltración desde el canal.

La infiltración sujeta se produce cuando el nivel freático es somero, tiene una marcada influencia sobre la infiltración, que se produce según el gradiente creado entre el agua en el canal y el agua en la freática.

6.1 Métodos de medición de pérdidas por infiltración:

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

6.1.1 Métodos directos:

6.1.1.1 Método del estanque o endicamiento:

Consiste en aislar un sector del canal lleno de agua y medir las pérdidas registradas en función del tiempo. Las pérdidas se expresan en $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{día}$.

Las mediciones por el método del estanque -ponding method en inglés- (Alam y Bhutta, 2004), se pueden llevar a cabo durante el período de corta del canal, inmediatamente después del cese del flujo normal, mientras que el perímetro del canal está todavía saturado. Se debe aislar un sector del canal de por lo menos 300 m, por medio de diques temporales; conviene sellar los extremos con una lámina de plástico. Se observa el nivel del agua estancada en la sección a intervalos regulares, generalmente durante varios días y se observa la velocidad de caída de nivel de agua después del llenado inicial. Se debe tener en cuenta la evaporación diaria. Si bajara mucho el nivel, conviene rellenar para mantener una profundidad semejante a la del funcionamiento normal del canal (como en un infiltrómetro de doble anillo), Al realizar las determinaciones de esta manera, midiendo cada intervalos, es decir haciendo un considerable número de repeticiones, se reduce la incertidumbre del resultado medio.

Para los cálculos, los autores proponen la fórmula sugerida por Kraatz (Kraatz, 1977, citado por Alam y Bhutta, 2004)

$$S = W(d1 - d2)L / P * L \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde S es la filtración del promedio en m³ por m² cada 24 h, W el ancho medio de la superficie del agua estancada (m), d1 la profundidad del agua al comienzo de la medición (m), d2 la profundidad del agua después de 24 h (m), P el perímetro mojado promedio (m) y L es la longitud del canal (m).

Las principales limitaciones que mencionan los autores son: no puede ser utilizado mientras que los canales están funcionando y no se corresponde con las velocidades y cargas de sedimentos de las condiciones de funcionamiento. Por otra parte es aplicable en pequeños canales, que pueden no tener servicio permanente. No es aplicable a todas las condiciones, requiere de la ejecución de diques, y es un método intrusivo, otra desventaja es que el material en suspensión se puede depositar en el perímetro mojado, alterando las condiciones naturales de infiltración (Kinzi, K. et al.2010).

En Mendoza, es muy difícil aplicar este método: dadas las pendientes de los canales, lo atomizado que está la administración del agua, y las dificultades para coordinar con los administradores locales para disponer de hacer los diques necesarios, además que, como se mencionara, la gran heterogeneidad de suelos hace que determinaciones de este tipo, sólo se puedan considerar para el sector donde se ha hecho la determinación. Es posible que en alguna Inspección de Cauce (organización de usuarios), que administra el canal y puede tener disposición de retroexcavadora, además de una firme determinación para hacer tal experiencia, se puedan hacer determinaciones con este método exitosamente. Desde una institución académica o científica, en Mendoza, se puede tornar complicado y difícil de coordinar con las Inspecciones de Cauce, administradores locales del agua una determinación de este tipo.

Recordando lo mencionado en el capítulo 5.2 Suelos, respecto de las pendientes, aún las zonas más llanas tienen pendientes entre 0,1 y 0,2 % lo que

significa desniveles, en las longitudes recomendadas por el método de 30 a 60 cm, con lo que se altera notoriamente los perímetros mojados en relación con el funcionamiento normal del canal. La conclusión respecto de este método es que no se considera aplicable en Mendoza para satisfacer los problemas que se plantean en este trabajo.

6.1.1.2 Método de la diferencia de caudales o de entradas y salidas

Consiste en el aforo entre dos secciones de un tramo de canal. Cuando se hace en varias porciones de canal también se lo denomina de entradas y salidas. Las pruebas se realizan en las condiciones de funcionamiento y para el caudal de operación del canal. Las pérdidas pueden expresarse en las tres formas enunciadas. Como inconvenientes se mencionan las variaciones de caudales del sistema, lo que obliga a que los aforos se realicen con cierta demora en el tiempo; se requieren tramos de canal lo suficientemente largos; se requiere de más tiempo y mano de obra.



Figura 14 Canal Flores: sección óptima para la medición.



Figura 15 - Canal Tulumaya: evaluando una sección para medir

Históricamente, la determinación de pérdidas por infiltración en canales usando el método de entradas y salidas ha sido una tarea muy compleja. La determinación de pérdidas requiere de mucho tiempo, a la vez que la minuciosidad es fundamental para obtener resultados precisos (Kinzli, K. et al, 2010). Estos autores mencionan estos inconvenientes al presentar los resultados de aparatos de medición por doppler acústicos, que hacen una integración del área y de la velocidad en la sección de aforo. Es muy importante tanto la elección del lugar de la medición para asegurar la regularidad de los filetes líquidos, como la determinación del área transversal del cauce, pues ambas suelen constituirse en fuentes de error, y no

siempre se dispone de una sección uniforme que permita una buena medición del área. . Las múltiples salidas complican la medición, tal como se observa en al Rama Gil en la figura Figura 16.



Figura 16 - Rama Gil en Carbometal. Múltiples salidas

Algunos autores consideran el método de encharcamiento o endicamiento es más preciso que el de entradas y salidas (Alam y Bhutta, 2004). Esa observación puede ser válida en ciertos canales de Pakistán, donde los autores mencionan que es frecuente la variación del caudal en el canal, lo que impide la precisión en determinaciones por el método de entradas y salidas. Para las pendientes de Mendoza, los caudales manejados, el método de endicamiento se torna complicado. Por otra parte, la observación de sensores telemétricos ubicados en las cabeceras de los canales de Mendoza, permite visualizar que existan o no las fluctuaciones de caudales en las entradas de los canales durante la medición por el método de entradas y salidas.

Con el método de entradas y salidas se puede precisar actualmente sus resultados, al disponerse en el mercado de equipos ADCP (Accoustic Doppler Current Profilers), que integran velocidad en el área y sección de aforo, lo que le da a la medición una gran precisión (Kinzi, K. et al, 2010). Figura 17 y Figura 18. En la provincia de Mendoza no se dispone a la fecha de tales instrumentos, que son de última generación, aunque por tratarse de elementos electrónicos están bajando su precio y en el corto plazo su adquisición será más accesible.



Figura 17 ADCP Integrando velocidad y área Figura 18 Detalle de ADCP

6.1.1.3 Método del permeámetro

Se hacen determinaciones puntuales de conductividad hidráulica en suelo saturado en diferentes tramos del canal con aparatos diseñados al efecto, en las condiciones normales de funcionamiento del canal. Se menciona que es de fácil operación. Su inconveniente es que se requieren muchas repeticiones para establecer una representatividad adecuada. Su mayor utilidad es que permite la medición de conductividad hidráulica entre diferentes tramos, a efectos de tomar decisiones respecto de obras para evitar pérdidas (Grassi, 2001). Este autor no da mayores precisiones, pero por lo consultado en la bibliografía, se aplica en España. Su desarrollo se basa en que la conductividad hidráulica en suelo saturado es una propiedad clave en la descripción de los procesos de infiltración y redistribución de agua en el suelo. El valor de la conductividad hidráulica depende en su mayor medida de la estructura del suelo (García Sinova et al, 2001).

6.1.2 Métodos analíticos y empíricos

6.1.2.1 Modelos empíricos

Con valores conocidos y medidos de pérdidas por infiltración, para diferentes condiciones de medio físico, se pueden establecer ecuaciones empíricas y gráficos. Estos métodos permiten realizar estimaciones que se pueden emplear con fines de planificación, para situaciones similares en las que se han hecho las determinaciones

(Grassi, C, 2001). Sin embargo, a los efectos de la operación resulta conveniente medir las pérdidas.

Para la provincia de Isfahan, en Irán, se han desarrollado modelos empíricos para indicar la relación entre la Ec. y la textura de los suelos, la capacidad del canal, la cobertura vegetal en canales de tierra. Estos modelos pueden ser eficaces según el autor para diferentes condiciones de las variables mencionadas (Sepaskhah, A. R. and Salemi, H. R., 2009). Por el contrario, para la realidad mendocina es más razonable sostener lo expresado por Grassi (2001) que expresa que las formulas empíricas y analíticas en la realidad no son de mayor ayuda desde el punto de vista de la operación, pues en este caso se requiere de mayor precisión y es por lo tanto más lógico medir las pérdidas.

En zonas de suelos homogéneos puede ser de utilidad la aplicación de modelos empíricos para la estimación de la Ec. En el caso del área regadía del río Mendoza, la heterogeneidad de suelos hace difícil el uso y ajuste de modelos de estas características, por la practicidad de su aplicación: determinar primero la homogeneidad de suelos en el sector de canal a modelar, ajustar el modelo y refrendarlo de alguna forma, que no puede ser de otra forma que haciendo mediciones directas de entradas y salidas.

6.1.2.2 Imágenes infrarrojas

Kinzli (2010) menciona trabajos realizados con imágenes infrarrojas. Se supone que las zonas con altas filtraciones tienen mayor cobertura vegetal que las de menor infiltración. (Engelbert et al., 1997). El principal inconveniente de este método es que no se cuantifica realmente la infiltración y no se puede utilizar donde existe suficiente agua subterránea para el crecimiento vegetal. En general, este método puede ser útil para identificar áreas donde el revestimiento del canal podría ser ventajoso.

6.1.2.3 Medición por resistividad eléctrica:

Resistencia eléctrica es otro método que puede utilizarse para determinar las tasas de infiltración, basado en el principio de que las áreas de alta filtración muestran un aumento de resistividad eléctrica.

Los procedimientos fueron desarrollados y probados para las pérdidas por filtración en los canales no revestidos (Hotchkiss et al., 2001). El procedimiento es adecuado para secciones de canales trapezoidales sustentados por arcilla con una capa de material permeable en profundidad. Estas condiciones prevalecen en gran parte de Central Nebraska Public Power and Irrigation District. El procedimiento utiliza de resistividad eléctrica (RE) Las mediciones se realizan mientras que los canales están en servicio, en la capa de arcilla subyacente. Se correlacionan datos de ER con la profundidad del canal y luego con la tasa de filtración (medida realmente). La precisión es aproximadamente $\pm 20\%$ Lo interesante del método, según el autor, es que este método puede determinar con precisión las zonas de mayor infiltración, que el uso de medidores de flujos, y permite reducir las longitudes a revestir. Produce información valiosa para la toma de decisiones respecto a la conservación del agua y la gestión de las aguas subterráneas y dónde invertir los recursos, siempre limitados.

Este método requiere el desarrollo de un ajuste local de la medición real de infiltración, por lo que se limita su utilidad general. (Kinzli, K. et al, 2010). Se considera que en Mendoza se podría aplicar a efectos de la determinación de los sectores de mayor infiltración, aunque aparentemente está limitado a canales con capas de arcilla en su lecho.

6.2 Metodología Propuesta para el área regadía del río Mendoza

Luego de evaluar el marco de referencia y los antecedentes locales de la red de riego, de la observación a campo de los canales de la red de distribución de agua del río Mendoza, repasar las características de los suelos y la topografía de la zona; luego del diálogo y la discusión con los distintos niveles de operación de la red, de los procesos que se observan en los canales, y analizada la documentación que se menciona en este trabajo, se considera adecuado para la determinación de eficiencia de conducción el **método de entradas y salidas**, descrito en 6.1.1.2.

Aunque se da por conocido el método para el aforo de agua o medición de caudales en un canal con el uso de molinetes, de la metodología expuesta por la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 1994), se ha considerado conveniente describir los métodos para la determinación de la velocidad media y la exactitud que se puede alcanzar aplicando adecuadamente la metodología que allí se describe:

6.2.1.1 Determinación de la velocidad media en la vertical

La velocidad media del agua en cada vertical se puede determinar con uno de los siguientes métodos:

- a) métodos de puntos reducidos;
- b) método de integración.

a) Método de puntos reducidos

i) método de un punto. La velocidad se debe medir en cada vertical colocando el molinete a 0,6 de profundidad a partir de la superficie. El valor observado se considera como la velocidad media en la vertical.

ii) método de dos puntos. Las observaciones de velocidad se deben hacer en cada vertical, colocando el molinete a 0,2 y 0,8 de profundidad a partir de la superficie. El promedio de los dos valores puede considerarse como la velocidad media en la vertical;

iii) método de tres puntos. La velocidad se mide colocando el molinete en cada vertical a 0,2, 0,6 y 0,8 de profundidad a partir de la superficie. El promedio de los tres valores puede ser considerado como la velocidad media en la vertical. Se puede también ponderar la medición a 0,6 y la velocidad media se obtendrá con la ecuación:

$$V = 0,25(v_{0,2} + 2v_{0,6} + v_{0,8})$$

Ecuación 5

b) Método de integración

En este método, se baja y se sube el molinete a lo largo de toda la profundidad en cada vertical a una velocidad uniforme. La velocidad de descenso o de ascenso del molinete no debe ser superior a cinco por ciento de la velocidad media del flujo en la sección transversal y en todo caso debe estar comprendida entre 0,04 y 0,10 m s⁻¹. Se determina el número promedio de revoluciones por segundo. En cada

vertical se realizan dos ciclos completos y, si los resultados difieren en más de 10 por ciento, se repite la medición. Este método se utiliza rara vez en aguas con una profundidad superior a tres metros y velocidades inferiores a 1 m/s.

6.2.1.2 Exactitud

La exactitud de estas mediciones de caudal depende de la fiabilidad de la calibración del instrumento de medición, de las condiciones del canal y del número de mediciones de la profundidad y la velocidad que se hayan efectuado. Las mediciones se hacen normalmente registrando la profundidad y la velocidad en uno o más puntos, en cada una de las verticales de la sección transversal. El error típico para un nivel de confianza del 95 por ciento en este tipo de mediciones efectuadas en condiciones normales, es alrededor de un cinco por ciento (5%) (OMM 1994). De acuerdo con las determinaciones hechas por Abeyá en 1990, en canales poco profundos, la medición en un solo punto, a 0,6 de profundidad se considera suficiente. En canales de profundidad mayor de un metro, se recomienda el método de los tres puntos.

7 CONCLUSIONES

Los efectos directos que se han observado en la red de canales del río Mendoza luego de la regulación por el dique Potrerillo son dos: erosión y mayor infiltración.

Erosión y mayor infiltración inciden de manera diferente según los suelos, las trazas y las pendientes y el sector del canal considerado. La erosión requiere y ha requerido la intervención inmediata para su control y evitar la salida de servicio del canal erosionado. La infiltración, que se advierte a simple vista en sectores de algunos canales, o se alcanza a apreciar por la magnitud de las pérdidas por conducción, no está suficientemente evaluada. Y en consecuencia tampoco están evaluados sus efectos en la revenición de suelos y en la recarga de acuíferos.

A pesar de que el conocimiento de la Ec es fundamental para la gestión seguimiento y planificación del agua, los estudios antecedentes en Mendoza son escasos. Los presentados en 4.3 Estudios antecedentes de Ec en Mendoza, en pág.

29, sólo representan sectores de canales, y pocas hijuelas de una red de más de 37 canales y 170 hijuelas.

Hasta la habilitación del embalse, las condiciones físicas de los canales que integran la antigua red de riego del río Mendoza se habían mantenido, una vez alcanzada la estabilidad. Se había alcanzado un equilibrio entre la fuerza del agua que transportaban, la pendiente y la forma y el material natural con que se construyó el canal. Esa situación se vio alterada por el Embalse.

La falta de estructura de los suelos mendocinos condiciona la permeabilidad de los mismos, observándose que suelos livianos o medios se comportan como suelos de baja infiltración, debido a las fracciones minoritarias de limos y arcillas que poseen.

Luego de la regulación del río, se advierte que no se distribuye más agua en el área irrigada, pero, al no conocerse adecuadamente la magnitud y los lugares donde se han manifestado mayores pérdidas, tampoco se sabe si la relación entre agua distribuida, demanda y ascenso freático ha sufrido variación luego de la regulación en las distintas áreas de manejo.

No debe considerarse que toda el agua que se infiltra en los canales se pierde. En el área irrigada del río Mendoza una parte del agua infiltrada recarga acuíferos que son aprovechados alumbrando aguas subterráneas.

Una parte importante del agua que no llega a destino en los canales integra las pérdidas administrativas, que son de importancia y merecen especial atención.

Distintos trabajos hacen mención de lo dificultoso de la medición de la EC. Se ha mencionado que por las características topográficas y el moteado de los suelos mendocinos no parece adecuado el ajuste de modelos que se utilizan en otras latitudes.

Por otra parte, las pendientes mendocinas, la magnitud y longitud de los canales y la subdivisión de la administración del agua en las Inspecciones de Cauce

hacen inconveniente y dificultoso el uso de la metodología del endicamiento para la determinación de pérdidas en canales.

En la área irrigada del río Mendoza, tampoco se puede relacionar texturas con la permeabilidad de los suelos. Las porciones de texturas finas en los suelos inestructurados de Mendoza hacen ver la conveniencia de hacer las determinaciones de EC por el método de entradas y salidas.

Se concluye que el método más adecuado para la determinación de la EC es el método de entradas y salidas. Para su utilización, con río regulado y con el registro de caudales ingresados a los canales, se sorteaba la dificultad apuntada en otros distritos, donde la constante es la variación de caudales, según menciona la bibliografía citada. Aun así, el método que se va a utilizar, correctamente aplicado, tiene un margen de error del 5 %

La experiencia adquirida en la medición de caudales permite sostener que la determinación de la sección del canal es una fuente importante de error. No se dispone de los aparatos tipo ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) que además de integrar velocidad, integran también el área y hacen mucho más precisa la medición.

8 RECOMENDACIONES

Se deben continuar los trabajos de evaluación de Ec, no sólo como una obligación impuesta por el MGIA, sino por las importantes aplicaciones que su conocimiento reporta: para un adecuado diagnóstico y ajuste de los programas de mejoramiento e inversiones en infraestructura de conducción; para dar mayor precisión en la operación; también para cuantificar las aguas que se pierden ingresando a acuíferos freáticos salinos y las que ingresan a acuíferos aprovechables y en general como información de base para las tareas de planificación en el área regadía. .

Los programas de mejoramiento de la infraestructura deben estar acompañados por eficientes programas de disminución de pérdidas administrativas, que pueden ser tan o más significativas que las pérdidas por infiltración en los cauces.

La heterogeneidad y el moteado de suelos hacen desaconsejar el ajuste de modelos para predecir la EC, tal como puede hacerse en otras latitudes.

La bibliografía internacional se debe interpretar y aplicar con criterio a partir de las características de los suelos, pero aún así, no se pueden hacer generalizaciones de Ec en Mendoza.

Para sortear las dificultades encontradas para establecer las secciones de canales a medir, se recomienda la adquisición de aparatos que además de medir caudales, integren la sección del canal.

Bibliografía citada

- ABRAHAM, E., ABAD, J., BORRERO, L., SALOMÓN, M., SÁNCHEZ, C. Y SORIA, D. 2007 Caracterización y valoración hidrológica de la cuenca del río Mendoza mediante elaboración de modelo conceptual de evaluación. En : XXI CONAGUA 011:247-1:14. Tucumán, Argentina.
- ALAM, M.M. y BHUTTA, M.N. 2004. Comparative evaluation of canal seepage investigation techniques. *Agricultural Water Management* 66 (2004) 65-76
- APARICIO MIJARES, F.J. 1992. Fundamentos de Hidrología de superficie. Ed Limusa. México. 302 p.
- ARUMÍ, J.L. et al. 2009. Effect of the Irrigation Canal Network on Surface and Groundwater Interactions in the Lower Valley of the Cachapoal River, Chile, *Chilean Journal of Agricultural Research* 69(1):12-20 (January-March 2009)
- BALAGUER, H. Y VELGAS, M.. 1987 Infiltración en Canales de la Red de Riego de los Ríos Diamante – Atuel. Centro Regional de Aguas Subterráneas (CRAS)- San Juan
- BAKRY, M. AND KHATTAB, A. 1992. Regime behavior for alluvial stable Egyptian canals. *Irrigation and Drainage Systems*. Vol 6, N° 1 (feb.1992) pages 27 -36
- BUREAU OF RECLAMATION, 2002. [en línea]. Rio Grande Project. [www.usbr.gov/projects/Project.jsp?proj_Name=Rio Grande Project](http://www.usbr.gov/projects/Project.jsp?proj_Name=Rio+Grande+Project) [consulta 22/6/2010].
- CAMARA DE DIPUTADOS, 2010. [en línea]. Perilago de Potrerillos. Media sanción para su ordenamiento territorial, administración y control. http://www.hcdmza.gov.ar/index.php?option=com_content&task=view&id=163&Itemid=1&lang= [consulta 24/6/2010].
- CHAMBOULEYRON, J.; MIHAJLOVICH, D. MARVHEVSKY, P. 1972. Evaluación de la eficiencia del uso del agua de riego en el área dominada por el río Mendoza. UNCuyo. Facultad de Ciencias Agrarias. Mendoza.
- CHAMBOULEYRON, J.; MENENTI, M.; FORNERO, L.; MORÁBITO, J. Evaluación y optimización del uso del agua en grandes redes de riego. INCyTH – IILA, Roma, Italia, 1982
- CHAMBOULEYRON, J.; 2001. Historia de Corralitos. Inédito. Biblioteca del DGI. Mendoza.
- COMITÉ CONJUNTO PROVINCIA DE MENDOZA – AGUA Y ENERGÍA ELÉCTRICA. 1972. Aprovechamiento Múltiple Potrerillos: Estudios: Sedimentología y Movimiento de Embalse. Tomo 2B. Mendoza
- CORIA, E. Y PAZOS, J. 1984. Estudios de Problemas de Revenición en la Cuenca de los Ríos Diamante – Atuel. Centro Regional de Aguas Subterráneas - San Juan
- DEAN, H. 2010. Subdelegación de Aguas del Río Mendoza, 2010. Planilla de Caudales Distribuidos desde dique Cipolletti. (inédito) Documento de trabajo interno. Mendoza.
- DEPARTAMENTO GENERAL DE IRRIGACIÓN. Caracterización y Evaluación de las Áreas de Manejo del Río Mendoza. Plan Hídrico Provincial. Plan Hídrico del Río Mendoza. Mendoza, 1997.
- DEPARTAMENTO GENERAL DE IRRIGACIÓN. 2000. Plan Hídrico Provincial.. Bases y propuestas para una política de Estado. Mendoza.

DEPARTAMENTO GENERAL DE IRRIGACIÓN. 2001 Resolución 1371/S/2001 de Componente de Manejo en Obras, Archivo de Despacho de Superintendencia del DGI.

DEPARTAMENTO GENERAL DE IRRIGACIÓN. Plan Director de los Recursos Hídricos de la Provincia de Mendoza. SAGYP y Gobierno de Mendoza. Proyecto PNUD/FAO /ARG/00/008. Mendoza, 2005

DEPARTAMENTO GENERAL DE IRRIGACIÓN. Plan Director de Ordenamiento de los Recursos Hídricos – Informe Principal. Volumen II: Cuenca del Río Mendoza. Anexo N° 1: Aguas Subterráneas. SAGYP y Gobierno de Mendoza. Proyecto PNUD/FAO /ARG/00/008. Mendoza, 2005.

DEPARTAMENTO GENERAL DE IRRIGACIÓN. Anexo 7. Agronomía. Plan Director de los Recursos Hídricos de la Provincia de Mendoza. SAGYP y Gobierno de Mendoza. Proyecto PNUD/FAO /ARG/00/008. Mendoza, 2005

DEPARTAMENTO GENERAL DE IRRIGACIÓN. Informe a la Legislatura Provincial. Cambio de derechos eventuales a categoría de derechos definitivos. Leyes 7444 y 6105. Archivo de la H. Legislatura N° 13.680 Carpeta 261 VS. Mendoza. 10 p. 2007.

DIARIO SAN RAFAEL. 2010. Claro como el agua. San Rafael. Mendoza. 20 – 02 -2010

DIRECCIÓN DE INGENIERÍA, DGI, 2010. Programa del Río Mendoza. Proyecto Mendoza Norte; Subproyecto Canal Matriz Cacique Guaymallén. Componente 4 y 5. Red de desagües, drenaje y aluvional. En elaboración.

ENGELBERT, P.J., HOTCHKISS, R.H., KELLY, W.E., 1997. Integrated remote sensing and geophysical techniques for locating canal seepage in Nebraska. *Appl. Geophys.* 38, 143–154.

EXEBIO-GARCÍA, A. PALACIOS-VÉLEZ, E., MEJÍA-SAEN, E., RUIZ-CARMONA, V. Metodología para estimar pérdidas por infiltración en canales de tierra: *TERRA Latinoamericana* [en línea] 2005, vol. 23 no. 2. <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=57323208>. [Consulta 25 – 06 - 2010].

FIPPS, G., 2001. Potential Water Savings in Irrigated Agriculture for the Rio Grande Planning Region (Region M). Rio Grande Regional Water Plan. Final Report, December.

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO, 2008 . Dictamen Técnico de la Manifestación General de Impacto Ambiental de Potrerillos. Mendoza.

GARCÍA-SINOVA D., REGALADO C., MUÑOZ-CARPEN R., Y ÁLVAREZ-BENED J. 2001 Comparación de los permeámetros de Guelph y Philip-Dunne para la estimación de la conductividad hidráulica saturada del suelo. En J. J. Lape y M. Quemada (eds.) *Temas de Investigación en Zona no Saturada (V)* : 3 1-36, Universidad Pública de Navarra, España

GRASSI, C. 2001. Operación y Mantenimiento de Sistemas de Riego. Serie Riego y Drenaje. RD-44. CIDIAT. Mérida. Venezuela

HERNÁNDEZ, J.I. 1982. Infiltración en la red secundaria del río Mendoza. Síntesis del trabajo. Documento D – 39. Serie técnica. CRAS. San Juan.

HERNÁNDEZ, J. I. et al. .2002. Estimación de la infiltración en canales derivados del río Mendoza. IT N° 22 CRA - INA, Mendoza, 2002

HERNÁNDEZ, J. I. y MARTINIS, N.. 2002. Particularidades de las cuencas hidrogeológicas explotadas con fines de riego en la provincia de Mendoza. INA. Mendoza.

HERNÁNDEZ, J. y ots. 2005. Modelización hidrológica de la cuenca norte de la provincia de Mendoza. Centro Regional Andino. INA. Mendoza.

HERSCHY, R.W., FAIRBRIDGE, R.W. (Eds.), 1998. Encyclopedia of Water Resources, vol. 442. Kluwer Academic, Dordrecht, The Netherlands, pp. 777–778.

HONORABLE TRIBUNAL ADMINISTRATIVO del DGI. 2010. Resolución 109/HTA Informe antecedente costo de obras realizadas para actualización de Fondo Potrerillos. Mendoza.

HOTCHKISS, R.H., WINGERT, C.B., KELLY, W.E., 2001. Determining irrigation canal seepage with electrical resistivity. ASCE J. Irrig. Drain 127, 20–26. 1

HVIDT, M. 1998. Water resource planning in Egypt. Odense University, Denmark. [en línea] 2000. <http://web.macam.ac.il/~arnon/Int-ME/water/Water%20resource%20planning%20in%20Egypt.htm>. [Consulta 26 – 07 - 2010].

INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA AGROPECUARIA, Municipalidad de Lavalle, 4° y 5° Asociación de Inspecciones de Cauce. Documento de trabajo para la actualización del diagnóstico técnico del departamento Lavalle. Mendoza, 2007

KINZLI, K., MARTINEZ, OAD, R. , DAVID, A.P. 2010. Using an ADCP to determine canal seepage loss in an irrigation district. Agricultural Water Management, Volume 97, (Issue 6), June 2010, Pages 801-810

LOS ANDES, 2009: Por las aguas claras, la Rosada resarcirá a San Rafael. En Diario Los Andes, Mendoza, 27/11/2009 p. 8

KACIMOV, A.R., 1992. Seepage optimization for trapezoidal channel. ASCE J. Irrig. Drain 118, 520–526.

MAGNANI, C, HERNÁNDEZ, J. y SAÁ, J.C. Fenómeno aguas claras Su impacto ambiental y socioeconómico en San Rafael. 1995. Instituto de Estudios para la Transformación del Estado. San Rafael, Mendoza. Pp 41 -49

MARTÍN, F. (2002) “Agua y modelo productivo. Las transformaciones del sistema de riego en Mendoza y la reestructuración capitalista-exportadora del circuito vitivinícola regional”. (CELA). [[www.imd.uncu.edu.ar/ contenido/skins /www_imd/... /36.doc.pdf](http://www.imd.uncu.edu.ar/contenido/skins/www_imd/.../36.doc.pdf)][consulta 10 junio 2010]

MIRÁBILE, C. 2005. Conductividad hidráulica de los suelos del oasis regado por el río Tunuyán medio. INA. CRA. En Congreso Nacional del Agua. Mendoza.

MORÁBITO, J.A. 2003. Desempeño del riego por superficie en el área bajo riego del río Mendoza. Eficiencia actual y potencial. Parámetros de riego y recomendaciones para un mejor aprovechamiento agrícola en un marco sustentable. (Tesis de Maestría en Riego y Drenaje). Chacras de Coria. Escuela de Posgrado. Facultad de Ciencias Agrarias. UNCuyo. 91 p.

MORÁBITO J., QUERNER E y D. TOZZI. (2007) Cambios hidrológicos en la cuenca del río Mendoza simulados con el modelo SIMGRO. En: XXI CONAGUA Tucumán, Argentina. -

MAyOP: MINISTERIO DE AMBIENTE Y OBRAS PÚBLICAS. Res 1798/MAyOP/98. 1998. Aprobación de la Evaluación de Impacto Ambiental del Dique Potrerillos. Mendoza.

OLIVA, E. 2006. Relevamiento planialtimétrico georreferenciado en el Río Mendoza. Sector 1. DGI. Documento de base para líneas de ribera. Inédito. Mendoza.

ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL (OMM). 1994 . Guía de Prácticas Hidrológicas. Adquisición y proceso de datos. Análisis, predicción y otras aplicaciones. OMM N° 168. 779 p.

ORTIZ MALDONADO, G. 2004. Variaciones de los niveles freáticos en función de la evapotranspiración, precipitación efectiva y volúmenes distribuidos en los distritos de Costa de Araujo - Gustavo André. Determinación de las superficies afectadas con nivel freático. Dpto. de Lavalle. Año 1983 a 2002. (Tesis de Maestría en Riego y Drenaje). Chacras de Coria. Escuela de Posgrado. Facultad de Ciencias Agrarias. UNCuyo. 54 p.

- PERRONE, R. 2004. Estudio de pérdida en Canal Marienhoff, Canal Bajada de Araujo, Canal San Pedro y San Pablo y Canal Gustavo André. Informe final de componente de Manejo en Obras res 1371/2001. Biblioteca del DGI. Mendoza.
- PONTE, J.R. 2005, De los Caciques, del agua, a la Mendoza de las Acequias. Mendoza, Ed. Ciudad y territorio. 452 p.
- RODRIGUEZ, T. Y VELGAS, M. 1989. Estudio de Revenimiento en la Zona de San Rafael. Centro Regional de Aguas Subterráneas - San Juan
- SALOMÓN, Mario Alberto, SANCHEZ, Carlos y PEREYRA, Luis: Estimación del balance hídrico mediante la aplicación del modelo ISAREG en el Canal Segundo vistalba, Luján de Cuyo, Mendoza (Argentina)
- SALOMÓN, M. et al. 2001. Proceso metodológico de Evaluación de Impacto Ambiental de la presa Potrerillos. Irrigation Symposium. International Society for Horticultural Science. Mendoza. Argentina.
- SATLARI, G. et al. Relevamiento de la Infraestructura de Riego de la Provincia de Mendoza y su Sistematización en un Sistema de Información Geográfico. CONAGUA 2005, Mendoza
- SATLARI, G. 2007. Auditorías para la evaluación en las mejoras de distribución de aguas en las Inspecciones de Cauce. CONAGUA 2007. San Miguel de Tucumán.
- SATLARI, G. 2009. Capacitación a organizaciones de usuarios para optimizar el uso del agua. VI Congreso Internacional de Riego y Drenaje.- Cuba riego 2009. Cuba.
- SCHILARDI, C. CÚNEO, G. Y SATLARI, G. 2007. Modelos informáticos y aplicaciones SIG para la distribución en redes de riego. CONAGUA 2007. San Miguel de Tucumán.
- SCHREIDER, M. SCACCHI, M. et al. 2000. Aplicación del método de Lischtvan lebediev al calculo de erosión general en lechos de arena. En Congreso Nacional del agua (XVIII, Santiago del Estero ,2000) Memorias del XVIII Congreso Nacional del Agua.
- SHARMA, H.D., CHAWLA, A.S., 1979. Canal seepage with boundary of finite depth. ASCE J. Hydrogen Energy 105, 877–897.
- SUBSECRETARIA DE MEDIO AMBIENTE (2010) [En línea] Humedales; Aguas Claras. Gobierno de Mendoza www.ambiente.mendoza.gov.ar/humedales/ [Consulta 12/06/2010]
- SECRETARIA DE ENERGÍA, 2010. Contenidos didácticos: Viscosidad [en línea] <http://energia3.meccon.gov.ar/contenidos/verpagina.php?idpagina=452> [Consulta: 14 mayo 2010]
- SEPASKHAH, A. R. y SALEMI, H. R., 2009. An empirical model for prediction of conveyance Efficiency for small earth canals. Technichal note Oct 11, 2009 Dept. of Irrigation, Shiraz University, Shiraz, I. R. of Iran
- SUBDELEGACIÓN DE AGUAS DEL RÍO DIAMANTE. 1995. Estudio Preliminar de los Impactos ocasionados en la zona de aprovechamiento del recurso hídrico del Río Diamante, por el sistema hidroenergético “agua del Toro, Los Reyunos y el Tigre. DGI. Mendoza. 42 p
- TORRES, L. 2000. Acceso a los recursos y distribución de la población en tierras secas de argentina: el caso de Mendoza. Aportes hacia la equidad territorial Scripta Nova. Vol. VII, núm. 148, 1 de septiembre de 2003. Barcelona, España
- UMETSU, C. & CHAKRAVORTY, U. 1998. Water conveyance, return flows and technology choice Agricultural Economics, Volume 19, (Issues 1-2), Pages 181-191- september 1998
- VAN DER LEEN, F., TROISE, F.L., TODD, D.K., 1990. The Water Encyclopédia. Lewis, Chelsea, Michigan.

VEN TE CHOW. 2004. Diseño de canales con flujo uniforme. En: Hidráulica de Canales Abiertos. Ed. McGraw-Hill Interamericana. Bogota, Colombia, pp: 154-188.

VITALI, G.. 2005 , Hidrología Mendocina. 2ª Edición Pag 42 Ediciones culturales de Mendoza. Mendoza. 242 p.

VIVAS ,J. Y POBLETE, M. 1986. Problemas de Revenición en el Departamento de San Rafael. Centro Regional de Aguas Subterráneas - San Juan

WARNER, K.M. Y HENDRIX, K.M. 1984 California riparian systems : ecology, conservation, and productive management Ed Berkeley : University of California Press. California. USA. 1035 p.