

DETERMINANTES DE LA SALINIZACION DEL AGUA SUBTERRANEA EN EL ESTE MENDOCINO

Armando Llop, Junio de 1997

1.- Descripción del Problema.

Desde hace bastante tiempo se sabe que el agua subterránea en el Este mendocino se encuentra bajo un proceso de degradación por salinización. Específicamente, los datos de calidad del agua generados por el CRAS¹ indican que desde fines de la década de los '70 a principios de los '90, la conductividad eléctrica del agua subterránea en una extensa área crítica del Este ha aumentado en un promedio del orden de los 1500 micromohos por cm. La información más reciente, todavía no procesada, evidencia que el problema se ha seguido agravando aceleradamente en el tiempo.

El agua subterránea en el este mendocino puede caracterizarse como un sistema tricapa, ya que presenta tres estratos acuíferos suficientemente bien diferenciados que contienen agua subterránea de distinta calidad. El nivel superior, asentado sobre una capa confinante (en realidad es semiconfinada) o acuitardo, se encuentra totalmente salinizado por el proceso normal de riego, concentración de sales, y lixiviación profunda de las mismas. Bajo este nivel freático, subyacen otros dos niveles, históricamente caracterizados por contener agua de buena calidad. El nivel medio, que es el más explotado por encontrarse a una distancia entre 100 y 180 mts. de la superficie del suelo, es el que se encuentra en avanzado estado de deterioro. El nivel acuífero más profundo es el menos explotado, y todavía conserva niveles de calidad muy buenos.

No obstante lo mencionado, existe evidencia de que el proceso de salinización del nivel medio se está extendiendo y afectando a este tercer nivel debido a la intensificación de su explotación.

Es muy conocido el hecho de que muchos usuarios de agua subterránea que bombeaban del segundo nivel, al encontrarse con niveles crecientes de salinidad, han reprofundizado sus pozos o establecido nuevas perforaciones para obtener agua de mejor calidad del tercer nivel. De esta manera, mediante importantes inversiones, la mayoría de los productores ha conseguido temporariamente evadirse del problema de la salinización. Pero es claro que si no se toman medidas concretas para controlar este proceso, en un futuro no muy lejano confrontarán una salinidad en aumento, pero ya no tendrán fuentes subterráneas alternativas a los cuales recurrir para obtener de agua de riego de buena calidad.

2. Las Causas del Problema

El proceso de salinización está causado simultáneamente por dos fenómenos. Por un lado, existe una gran cantidad de pozos que por defectos en su construcción o problemas de su edad, se encuentran perforados, rotos o en mal estado y facilitan la intrusión salina del nivel freático al segundo nivel. El CRAS ha estimado que mas del 30% de los pozos se encuentran en malas condiciones. Esta criba de pozos en malas condiciones, facilita la intrusión de agua freática que deteriora progresivamente la calidad del nivel medio.

El otro fenómeno determinante de la intrusión salina responde al hecho que en el área bajo consideración existen muy pocas hectáreas en producción con derecho de agua superficial, lo que está asociado a una proporción alta de requerimientos de agua subterránea. El excesivo bombeo que ocurre en verano deprime el nivel piezométrico del acuífero profundo (disminuye su presión) mientras que el agua lixiviada por el riego en verano al ingresar al perfil saturado del nivel freático aumenta la presión del mismo. Esto se agrava al considerar que en las áreas críticas los suelos son preponderantemente

¹ Centro Regional de Agua Subterránea (CRAS), atualmente Instituto Nacional de Agua y el Ambiente.

arenosos, con alta capacidad de drenaje. La implicancia directa del incremento en la diferencia de presiones entre el nivel freático y el nivel medio es el aumento de la intrusión salina a través del semiconfinamiento que las separa. Como se dijo, esta intrusión se encuentra facilitada por las perforaciones en mal estado y es también consecuencia de las características de semiconfinamiento que existe entre los dos niveles.

Existe un tercer factor determinante de la situación actual: los costos incurridos hasta ahora y la inminencia de la desertificación del Este mendocino se deben en gran medida a la inacción del Estado, que no ha encontrado la manera de ejercer adecuadamente su indelegable poder de policía para conservar la calidad del recurso.

3. Los Impactos de la Salinización

Los procesos descriptos han tenido y tendrán varios impactos. En primer lugar, como ya se mencionó, ante la salinización del nivel medio del sistema acuífero, una alta proporción de propiedades sin derecho de riego superficial han reprofundizado sus perforaciones para acceder a la mejor calidad del tercer nivel. Esto evidencia una sostenida demanda por agua de calidad apropiada para el riego.

Asociado al impacto mencionado, el inicio de un proceso de degradación semejante en el tercer nivel implica que en el mediano o largo plazo (dependiendo de la velocidad del proceso) se produzca la pérdida total de la capacidad del acuífero como reservorio útil con fines de riego, agua potable y otros usos. Conviene recordar que el agua subterránea en el Este es la única fuente de agua potable.

La salinización del agua de riego implica una creciente salinidad del suelo, lo que produce caídas en el rendimiento de los productos agrícolas. Por sobre determinados umbrales de salinidad del suelo, se deben abandonar los cultivos más sensibles, reduciéndose cada vez más la frontera productiva.

Los impactos económicos asociados están dados principalmente por la caída del valor de la tierra, lo que significa una pérdida de activos por parte de los propietarios, y por el empobrecimiento de la población rural determinada por la caída de ingresos en el sector agrícola. Las poblaciones de Este enfrentarán costos crecientes en la provisión de agua potable cada vez de menor calidad.

El impacto social es multidimensional: empobrecimiento rural, migración a zonas urbanas con los consiguientes aumentos en el costo de los servicios o pérdida de la calidad de los mismos, aumento en la marginalidad, criminalidad, etc. En síntesis, pérdidas en la calidad de vida.

Ambientalmente, no quedan dudas que estamos en presencia de un importante proceso de desertificación por salinización de las fuentes de agua. Lo contrario a los objetivos de un desarrollo sustentable.

4. Los Objetivos

De lo arriba presentado surge claramente que para diseñar un adecuado proyecto de control de la salinización del agua subterránea en el este mendocino, debe conocerse cuantitativamente el aporte relativo al proceso de salinización de los dos fenómenos: a) el efecto de los pozos en mal estado, y b) la intrusión a través del semiconfinamiento por sobreexplotación. Se sabe que los dos factores tienen importancia en el proceso de salinización, pero hay que identificar la incidencia relativa de cada uno. En este contexto, el objetivo del presente trabajo consiste en lograr una primera aproximación cuantitativa acerca de la magnitud de estos fenómenos.

Si puede demostrarse que la principal fuente son los pozos en mal estado, el principal componente del

proyecto del control de la salinización debería orientarse precisamente a la reparación, segamiento, etc. de los pozos existentes, y un estricto control de la calidad de las nuevas perforaciones y un robusto sistema de monitoreo. Por otro lado, si se demuestra que el principal componente es la intrusión salina por sobreexplotación, lo correcto sería desarrollar un programa mediante el cual se intente reducir la demanda de agua en las áreas críticas, y sustituir una porción del volumen bombeado actualmente por agua proveniente de otras fuentes. Estas últimas pueden ser aguas superficiales o aguas subterráneas alumbradas donde el acuífero no presenta condiciones de vulnerabilidad y trasladadas superficialmente a las áreas críticas.

No obstante, independientemente de los resultados, un plan operativo de control del proceso de salinización del acuífero deberá terminar conteniendo medidas correctivas que operen directamente sobre los pozos, y sobre la asignación de agua superficial y subterránea en el espacio cultivado.

Al momento, puede decirse que existe información suficiente como para realizar un importante avance en términos de identificación concreta de las actividades a realizar, con sus correspondientes cuantificaciones preliminares.

5. Características relevantes del Area Crítica Seleccionada.

Desde hacen varios años el CELAA viene desarrollando actividades de investigación orientadas al análisis de este problema de salinización del acuífero medio en el este mendocino. La fuente técnica principal para la identificación y análisis de este problema está dada por las bases de datos e información acerca de la calidad del agua subterránea que opera el Centro Regional de Aguas Subterráneas. Este organismo ha preparado mapas que muestran las curvas de isoconductividad para los tres niveles del acuífero y para distintos períodos. Es ésta la información que muestra la gravedad del problema, y sobre la que se puede identificar claramente cuáles son las áreas más críticas, o sea las sujetas a una mayor intensidad del problema. En el mapa 1 se muestra el área crítica seleccionada para realizar un estudio en profundidad.

En el año 1996 se realizó una encuesta en el área crítica, mediante la cual se relevó una importante cantidad de información que se reporta en el trabajo "Resultado de la encuesta a productores del área afectada por la salinización", de Graciela Fasciolo et al (INA-CELAA, 1997). A continuación se presentan algunos datos relevantes para caracterizar la problemática del área y para su utilización en la formulación del modelo que se desarrolla mas adelante.

El área relevada es del orden de las 14.000. Se encuestó el 30% de las propiedades, para las que se encontró que el tamaño medio por finca es de 52,1 has y que las has. cultivadas por propiedad ascienden a 31,9 has. en promedio. El cultivo de vid ocupa más del 87% de la superficie agrícola. La unidad de análisis en todos los casos correspondió a propiedades con pozos de agua subterránea. Fueran estos para riego o no, toda propiedad con pozo fue considerada para el relevamiento.

Se encuentran así desde fincas que tienen al agua subterránea como fuente exclusiva, mientras que otras, la mayoría, hacen un uso conjunto de agua superficial y subterránea.

Para el área relevada se estimó un total de 546 pozos. De éstos, 84 se encontraban abandonados y no segados, 63 habían sido segados o tapados, 281 estaban asignados específicamente al riego, y 117 manifestaron no tener finalidad de riego.

La superficie agrícola total calculada en base a la información muestral (solo fincas con pozo) arroja un valor de 13.573 has. para el área crítica estudiada. Si éste valor se compara con el área total calculada sobre la base cartográfica, que arroja un valor de 14.026 has., puede decirse que prácticamente en todos los casos existe uso conjunto. Esto es, casi todas las fincas del área tienen pozo.

Existen una serie de aspectos que surgen del relevamiento, que deben ser destacados por la importancia de su incidencia en la naturaleza del fenómeno de salinización del acuífero. El primero de ellos, es que en toda la zona relevada los suelos son predominantemente arenosos, siguiéndole los francos en una menor proporción. Esto hace que la permeabilidad del suelo sea sumamente alta, lo que facilita enormemente el proceso de lixiviación de sales de perfil. Esto corrobora estudios anteriores realizados por el CELAA, en los cuales se observa que la salinidad del suelo (conductividad eléctrica del estrato a saturación, CES) supera por muy poco valor a la conductividad eléctrica del agua de riego (CEA). La relación entre la CES y la CEA descendía en algunos casos a 1,1, siendo siempre menor de 2. Estos elementos indican que el agua de riego en verano drena fácilmente, lixiviando rápidamente las sales del suelo e incorporándose al nivel freático. Además de esto, se sabe que los suelos arenosos requieren una mayor cantidad de agua de riego que otros tipos de suelos. Estos dos factores inducen a pensar que durante el verano el nivel freático debe aumentar sensiblemente, lo que facilita la intrusión salina desde el freático.

Otro aspecto digno de ser destacado radica en el desconocimiento que manifiestan los regantes y otros operadores del agua con respecto a la naturaleza de la salinización del acuífero. Saben que el agua subterránea pierde su calidad, pero son incapaces de dar una explicación al fenómeno. Pero por otro lado, los productores del lugar tienen la clara percepción de que para obtener agua de buena calidad, los pozos deben tener los filtros por debajo de los 180 metros. De otra manera -expresan cabalmente- se obtiene agua de muy mala calidad.

Finalmente, para los casos en los que los regantes manifestaron problemas de salinización asociados a pérdidas en la producción, se indicaron caídas de los rendimientos del orden del 37%. Sabiendo que la vid es un cultivo bastante resistente a la salinización del suelo, esta tasa de reducción indica altos niveles de conductividad eléctrica en el mismo. De acuerdo a la bibliografía internacional, una caída del rendimiento de esta naturaleza está asociada con una conductividad del suelo de 5.385 micromhos.

6. Presentación conceptual del modelo de simulación.

El modelo está estructurado de manera tal que permite tener una idea cuantitativa del volumen de intrusión salina desde el freático que justifica la tasa de salinización ocurrida en el nivel medio a lo largo de una década (1981-1991). Para ello se simula una simple regla de mezcla, según los siguientes pasos:

a) Se comienza por la estimación del volumen y la salinidad del agua existente en el acuífero al inicio del período t . La unidad de análisis es el "nodo" hidrogeológico que tiene por superficie al área encuestada, de aproximadamente 14.000 has., cuya profundidad es la del nivel medio, y está caracterizada por un coeficiente de almacenamiento de agua.

b) Adicionalmente, se calcula la cantidad de agua bombeada anualmente desde el acuífero. Este cálculo se basa en los datos de la encuesta, considerando la cantidad de perforaciones en uso para riego agrícola, la cantidad media de has. que se riega con cada perforación, y la evapotranspiración de los cultivos dominantes en el área regada.

c) Conocido el volumen total del stock de agua existente al inicio de un período y el volumen que se extrae anualmente, se adopta el supuesto que idéntico volumen es el que ingresa al nivel medio (lo que es totalmente razonable, ya que es un acuífero semiconfinado). Ahora bien, el agua que ingresa puede hacerlo desde el aporte horizontal (H) que alimenta a nivel medio, con una conductividad inicial estimada en el orden de los 1.300 micromhos, o bien hacerlo por la intrusión de aguas proveniente desde el nivel freático (F). Esta última puede ocurrir a través de los pozos en mal estado, o permeando a través del semiconfinamiento por la diferencia de presión causada por

"sobreexplotación". En cualquier caso, el agua freática tiene una conductividad eléctrica media del orden de los 4.500 micromhos para el área bajo análisis.

d) Con los elementos definidos, ahora debemos buscar la manera de explicar el aumento en la salinidad media del acuífero medida por el CRAS. Este organismo ha desarrollado curvas de isosalinidad para los años 79 al 83 (en promedio, 1981), y aquellas correspondientes al año 1991. Esto es, contamos con los niveles de salinización ocurridos a lo largo de una década en nuestro nodo. De la misma fuente puede estimarse salinidad media del nivel freático que sobreyace a nivel medio, como así también la conductividad eléctrica media que del agua subterránea que ingresa horizontalmente al área crítica.

La conductividad eléctrica inicial en el nivel medio (1981) asciende a 1670 micromhos, mientras que hacia 1991 se observa un nivel medio que supera los 3000 micromhos.

e) El modelo funciona de la siguiente manera: en el primer año toma como condiciones iniciales el volumen de agua y la conductividad eléctrica de agua subterránea en nuestro nodo (el área crítica analizada). Al comienzo del segundo año se computa el stock de agua remanente en el acuífero (la que había al principio del período menos la que se extrae) con su concentración inicial; a éste se le agrega un volumen total igual al extraído, compuesto por una mezcla de agua proveniente del freático superior (F) y del aporte horizontal (H). Lo que hace el modelo es buscar iterativamente aquella proporción entre las fuentes de agua (F y H) que determine una trayectoria temporal de la salinidad que, partiendo del valor inicial (1670 micromhos) en el año 0, alcance el valor final (3170) en el año 10. Con este método puede entonces conocerse aproximadamente el volumen de agua anual ingresado desde el nivel freático.

f) Conocido el volumen de agua que se incorporaría según el proceso descrito, se estima el caudal que debería ingresar a través de cada pozo defectuoso, valor que se analiza en base a su admisibilidad.

7. Las Variables del Modelo de Simulación

A continuación se definen las variables que aparecen en la Tabla 1, donde aparece la "corrida base" del modelo. En cada caso se indican los principales supuestos adoptados y se mencionan los valores utilizados en los análisis de sensibilidad.

1. Porcentaje del agua que ingresa desde el nivel freático (intrusión). Esta es la variable resultado que se intenta determinar con el modelo. Se calcula de manera iterativa hasta hacer converger la salinidad modelada del nivel medio en el año 10 con el valor observado para tal período.

Esta variable se utiliza posteriormente para aproximar una estimación del caudal de intrusión de agua por bomba rota necesario para explicar la salinización observada en el acuífero.

2. Conductividad eléctrica inicial en el acuífero: este es el valor de la conductividad eléctrica media observada al inicio del período a simular, que para el año 1991 asciende a 1.672 micromhos. Esta variable se sensibiliza en corridas alternativas del modelo asignándole valores de 1.300 y de 2.000 micromhos.

3. Conductividad eléctrica del flujo de entrada horizontal: esta variable, como su denominación lo indica, expresa el nivel de salinidad del aporte que ingresa al nodo desde el suroeste, que es de donde proviene el flujo normal del acuífero. El modelo supone en todo momento que este nivel es constante a lo largo del período analizado y que permanecerá constante en un futuro. Esta variable que

asume el valor de 1.300 micromhos ha sido también sensibilizada asignándole valores alternativos de 1.000 y de 1.600 micromhos.

4. Conductividad eléctrica del nivel freático: el valor utilizado en la corrida base es el que corresponde a una estimación promedio de la salinidad del nivel freático según los estudios del CRAS. El modelo supone que la salinidad de este nivel es constante en el tiempo, lo que es un supuesto muy optimista, ya que los registros del CRAS indican que la salinidad de este primer nivel tiene una trayectoria creciente. Esta variable ha sido también sensibilizada en más y en menos, asignándosele valores de 4.000 y de 5.000 micromhos.

5. Salinidad del nivel medio en el año 10: esta es la salinidad estimada para el nodo según curvas de isosalinidad del CRAS, que asciende a 3.170 micromhos. Esta variable ha sido sensibilizada en un sentido conservador, utilizando valores menores al indicado. Estos son 2.900 y 2.700 micromhos.

6. Salinidad en el largo plazo: dado que se supone que en el tiempo los volúmenes de extracción anuales son constantes, como así también se consideran constantes la salinidad del aporte horizontal y la del nivel freático, este modelo presenta una trayectoria de salinidad que converge a un valor. Esta variable indica precisamente el nivel de convergencia que se alcanza bajo los distintos análisis de sensibilidad realizados. Es una variable resultado.

7. Hectáreas regadas por pozo: esta variable indica la cantidad de has. que se riegan por pozo según la encuesta realizada. Esta variable se sensibiliza asociada a la siguiente:

8. Extracción de agua por pozo y por año: Conociendo las has. que se riegan por pozo y la evapotranspiración para los cultivos del área reportados por el INTA, puede calcularse la extracción de agua por pozo. Para sensibilizar esta variable (que es equivalente a variar las has. regadas por pozo) asumiendo una actitud conservadora en relación a lo encontrado en la encuesta, esta variable se sensibiliza hacia abajo asignándole valores de 0,25 y 0,2 hm³ por pozo y por año.

9. Superficie del área estudiada: ya se ha mencionado que el área bajo estudio abarca 14.000 has., valor que se ha adoptado para todos los escenarios.

10. Espesor de nivel medio: tomando como base la información reportada por el CRAS, se ha supuesto que el espesor de nivel medio es de 80 m., o sea 0,8 hm.

11. Porosidad efectiva del acuífero: esta es una variable que hay que observar con mucha atención. Dado que estamos tratando sobre la porción confinada del acuífero, normalmente se presentan los valores del coeficiente de almacenamiento, que son sumamente pequeños, del orden el 0,00001. Este valor es el que indica cuánta agua produce el acuífero por cada metro en profundidad de extracción, pero esta producción es la que está dada por la expansión del agua (descompresión) al reducirse la presión que soporta. Lo que a nosotros nos interesa es la porosidad efectiva que existe en el nivel medio, ya que para calcular concentraciones necesitamos considerar el volumen de agua existente en el nodo. Entendemos por porosidad efectiva el porcentaje de agua que puede drenar libremente de un determinado volumen de material acuífero. Se ha supuesto que la porosidad efectiva relevante es 5%. Esta variable ha sido también sensibilizada asignándosele valores muy conservadores del 2% y del 1% para analizar su impacto sobre la variable resultado.

12. Volumen de agua subterránea: esta variable resultado indica el volumen de agua presente en nuestro nodo (el nivel medio bajo el área de estudio). Se obtiene multiplicando la superficie por la altura del nivel y por la porosidad efectiva.

13. Cantidad de pozos para riego: este dato proviene directamente de la encuesta, e indica todos

los pozos que están en el área bajo estudio que son asignados específicamente a riego.

14. Extracciones por año: esta variable, también resultado, indica la cantidad de agua que anualmente se extraería del acuífero para las condiciones planteadas en el escenario. Esta variable proviene de multiplicar el volumen de agua que se extrae por pozo por la cantidad de pozos de riego agrícola.

15. Pozos deteriorados: esta variable indica la cantidad de pozos existentes en el área bajo estudio que presentan problemas de alguna naturaleza, y que puede decirse que son los responsables de una porción de la contaminación del acuífero medio. El valor utilizado en el modelo es la suma de los pozos encontrados en la encuesta que se declaran como pozos abandonados y no segados más el 30% de los pozos para riego.

16. Volumen de intrusión desde el nivel freático: Esta variable resultado es el producto del volumen que ingresa anualmente a la porción del acuífero bajo estudio (nuestro nodo) multiplicado por el porcentaje de intrusión del nivel freático. Esta variable da una idea del volumen de agua que debe estar ingresando desde el primer nivel para explicar la tasa de salinización observada.

17. Caudal Requerido por Pozo Deficiente: Las tres últimas variables indican la cantidad de agua que debería ingresar por pozo deficiente desde el nivel superior. Se expresa en m³ por día, m³ por hora y litros por segundo.

8. Estructura y Funcionamiento del Modelo.

En la Tabla 1 se muestran los valores asignados a las variables utilizadas en el modelo, mencionando en cada caso el tipo de trate, clasificadas como variables de entrada o de resultado.

La Tabla 2 presenta la corrida básica el modelo. La primer columna contiene los períodos o años para un horizonte de 40 años, partiendo desde un valor inicial de 0. La segunda columna muestra la "salinidad remanente en stock", que es la conductividad eléctrica que se traslada de un periodo dado al siguiente a través del agua que no ha sido removida por bombeo. Específicamente, el valor a que se hace referencia es la diferencia entre el stock de agua en el área estudiada, menos las extracciones, multiplicada por la salinidad en el período anterior, todo lo que se divide por el volumen del stock.

La tercer columna muestra la salinidad aportada por el agua proveniente del nivel freático. Se obtiene multiplicando el volumen de agua extraída por bombeo (que es igual al volumen que ingresa por reposición) por la proporción de agua que ingresa desde el freático, y por su salinidad. Todo esto dividido el stock total, da el monto en conductividad eléctrica, aportado el nivel freático.. El hecho de que el valor de este aporte es constante para todo el horizonte temporal considerado, responde al supuesto de que la concentración de sales en el nivel freático permanecerá invariable en el tiempo.

Calculada de manera equivalente a la anterior, la columna 4 presenta el aporte de sales (medido en conductividad eléctrica) proveniente del desplazamiento horizontal de agua en el nivel medio. Finalmente, la última columna presenta el nivel de salinidad calculado para cada período en el nivel medio del acuífero para el área bajo análisis. Es la suma de las columnas 2 a 4 de la tabla.

El modelo funciona de manera tal busca iterativamente la proporción de agua que se incorpora por intrusión salina del nivel freático, que hace que la trayectoria de salinización alcance en el año 10 el valor buscado.

9. Presentación de los resultados

Los resultados están orientados a identificar: a) hasta donde es factible que la salinización observada en el agua subterránea sea solamente consecuencia de los pozos en mal estado, y b) si no es así, tratar de aproximar cuantitativamente su contribución en relación al aporte realizado por el proceso de intrusión a través del semiconfinamiento.

En primer lugar, para tener una idea del rango dentro del que puede moverse nuestra principal variable resultado (la cantidad de agua proveniente desde el nivel freático), se ha corrido el modelo para una amplia gama de escenarios. En las Tablas 2 y 3 se muestran todos los valores utilizados para la corrida básica y para valores alternativos de variables relevantes que definen los distintos escenarios. Las variables en cuestión son: la conductividad eléctrica inicial del nivel medio; la conductividad eléctrica del aporte horizontal al nodo bajo estudio; la conductividad eléctrica del nivel freático; el volumen de extracción de agua subterránea de nivel medio para riego; la porosidad efectiva del acuífero, y cantidad de pozos rotos o deteriorados.

Analizando los resultados para las distintas corridas, puede observarse que la proporción de agua que ingresa al nivel medio desde el nivel freático, oscila entre el 51,5% y el 97,8%. Esto está asociado a volúmenes de intrusión de agua desde el freático que van desde 43 a 83 hm³ por año. Este es el primer dato importante que deseábamos conseguir.

Interesa ahora saber cual es el volumen de agua freática (o caudal) que debería entrar por cada pozo para completar el monto arriba estimado. Para ello, si se considera que las bombas son utilizadas para riego 5 meses al año (lo que impediría una intrusión significativa a través de las perforaciones en malas condiciones durante 150 días por año), y se sabe que el 61,6% de los pozos se encuentra con sus filtros en el nivel medio (entre 100 y 180 metros de profundidad), se tiene que para la corrida base el caudal de intrusión por bomba en mal estado debe ascender a 2.702 m³ por día y por bomba, para los 215 días restantes del año. Esto equivale a 183 m³ hora o 82 litros por segundo. Conviene recordar que el número de pozos deteriorados que se consideran en este trabajo son el 30% de los pozos efectivamente utilizados para riego más la cantidad de pozos abandonados en malas condiciones y no segados.

Si se analizan las últimas tres hileras de la Tabla 3, donde figuran los valores de caudal de intrusión por pozo para los distintos escenarios, puede apreciarse de los valores extremos que el volumen de intrusión por bomba debe oscilar entre 135 y 266 m³ por hora, o bien entre 61 y 115 litros por segundo. Cuando se habla de más de 135 m³ por hora, se está hablando de un pozo con una muy buena producción, alta potencia, alta eficiencia y buenas condiciones en la productividad del acuífero.

Lo que hemos encontrado hasta ahora, quiere decir que para asignarle a los pozos en mal estado la total responsabilidad por la tasa de salinización observada en el nivel medio, estos deberían estar incorporando caudales entre 135 y 266 m³ por hora, rango que decididamente luce exagerado.

Resulta entonces importante contrastar estos valores con aquellos que pueden calcularse en base a las experiencias realizadas por el Centro Regional de Aguas Subterráneas, orientadas a la identificación del tipo y naturaleza de rotura en los pozos.

El CRAS ha desarrollado una técnica que permite diagnosticar el estado de los pozos mediante una simple experiencia, que consiste en hacer un seguimiento de la conductividad eléctrica del agua extraída de un pozo (seriado en el tiempo). Esto consiste en colocar un conductímetro en el agua de salida del pozo, y hacerlo funcionar luego de un determinado período de reposo (días sin bombeo). Iniciándose en momento 0, en el ensayo se determina la curva salinidad-tiempo, en minutos. Los pozos con problemas normalmente comienzan arrojando un alto nivel de conductividad eléctrica, respondiendo al agua freática que se ha introducido en la tubería, para continuar luego extrayendo el agua que se ha introducido por las roturas o deficiencias y que permanece en la zona circundante a los

filtros. El nivel de salinidad continúa por un tiempo alto en la medida que el pozo extrae el agua que se ha ido incorporando desde el nivel freático al nivel inferior. Una vez extraído esta "burbuja" de agua salina, el nivel comienza a reducirse hasta que converge a un estado estable. Si este estado estable coincide con el valor de salinidad del acuífero, esto indica que el pozo está roto en su parte superior (a nivel freático) o que hay una intrusión a través de una mala cementación del pozo. Si la convergencia ocurre a un nivel superior a la salinidad conocida del acuífero, significa que hay múltiples roturas y el agua que se extrae consiste en una mezcla proveniente de agua proveniente de distintos puntos a lo largo de la tubería.

Analizando la diversidad de ensayos salinidad-tiempo realizados por el CRAS, puede decirse que un caso en que la convergencia a condiciones de estado estable ocurren en un lapso no mayor de 3 horas luego de 7 días sin bombeo, es un caso grave. Haciendo sobre este caso un cálculo simple, puede razonarse que si la bomba extrae el grueso del agua salina intruída en tres horas a un caudal de 150 m³ por hora, el volumen de intrusión ocurrido en una semana tiene que haber estado en el orden de los 450. Esto equivale a un caudal de 2,68 m³ por hora de intrusión. Este caudal resulta 50 veces inferior al valor mínimo encontrado en los distintos escenarios encontrados de 135 m³ por hora. Aún suponiendo que una importante proporción de agua salina incorporada haya descendido mas allá del alcance de la bomba por su mayor densidad, para explicar los caudales de intrusión calculados deberíamos admitir corrientes descendentes irrazonablemente altas.

Resulta entonces inadmisible suponer que la salinización del nivel medio ocurre exclusivamente por los pozos en malas condiciones. Por lo tanto, se debe concluir que el principal aporte de sales al nivel medio ocurre por la llamada "sobreexplotación del acuífero", proceso que consiste en el ya explicado fenómeno de permeación de aguas salinas a través del confinamiento semipermeable por el diferencial de presión generado entre el nivel freático y el nivel medio.

Si se piensa que el caso tipo arriba presentado para calcular el volumen de intrusión por bomba de acuerdo a las experiencias del CRAS implica una gran subestimación, aún suponiendo que tal volumen de intrusión por pozo es 10 veces el mencionado, el aporte de la salinización del acuífero por pozos rotos explicaría a lo sumo el 20% de la salinización total, siempre recordando que estamos tomando como referencia el caso más conservador entre los distintos escenarios corridos con el modelo de salinización.

Las implicancias de estas conclusiones son considerables en términos de política hídrica: para controlar la salinización de agua subterránea en el Este mendocino, tanto en sus niveles segundo como tercero, se deben enfatizar las acciones tendientes a reducir la sobreexplotación. Entre otras, estas medidas pueden ser: a) reducir la demanda de agua, ya sea por cambio de cultivos o por adopción de tecnologías ahorradoras de agua; b) revisar las concesiones de agua superficial, de manera de poder reasignar agua de tal fuente a la zona; c) como una variante mitigada del punto anterior, asignar a la zona aguas excedentes de verano. Actualmente, tales excedentes se asignan a áreas ya atendidas, traduciéndose en la mayoría de los casos en ineficiencias, y d) conducir a la zona crítica agua subterránea alumbrada en áreas donde el acuífero es muy productivo y no resulta vulnerable.