

SALINIDAD DEL AGUA FREÁTICA EN EL AREA REGADIA DEL RIO MENDOZA

Gonzalo Ortíz Maldonado¹⁻³, José Morábito¹⁻², Emilio Rearte³ y Leandro Mastrantonio

¹ Profesional del DGI Mendoza. ² Investigador del INA. ³ Docente de la FCA - UNCuyo.
Alte. Brown 500 - (5505) – Chacras de Coria – Mendoza gortiz@irrigacion.gov.ar

RESUMEN

La provincia de Mendoza tiene la mayor superficie regada del país y cuenta con una vasta infraestructura de riego y drenaje en los cinco ríos aprovechados. Los suelos son de origen aluvial, con perfiles que alternan capas de distintas texturas, observándose la presencia de estratos muy finos -casi impermeables- que impiden el libre drenaje del agua de riego. Esta situación dinámica es más evidente en la llanura donde el área irrigada disminuye la pendiente coincidiendo con los sectores bajos de la cuenca. La aplicación del agua de riego, fundamentalmente “a manto” y las pérdidas por infiltración en la extensa red de distribución producen el ascenso de los niveles freáticos invadiendo la zona de la rizosfera de los cultivos y, en ocasiones, hasta la superficie del suelo. Este fenómeno favorecido por la capilaridad produce el incremento de sales en los suelos cerca de la superficie.

El agua de riego del río Mendoza posee valores medios de salinidad, a nivel de dique derivador, menores de 1 dS.m-1, con la que se irrigan dos áreas caracterizadas por el tipo de cultivos que se realizan: una denominada Area de Surgencia (AS) es eminentemente hortícola y la otra, denominada Area de Lavalle (AL) es vitifrutícola

En ambas se han construido redes de freatómetros de 3 metros de profundidad los que se miden cuatro veces por año, correspondiendo a los meses de marzo, junio, septiembre y diciembre. En “AS” hay una red de 98 pozos de observación (freatómetros) para conocer las profundidades, direcciones de flujos y calidad del agua freática. El “AL” tiene una red de 100 freatómetros distribuidos, a su vez, en tres subáreas con sus correspondientes sistemas de colectores de drenajes denominados: “Tres de Mayo – Jocolí” (TMJ), “Villa Lavalle” (VL) y “Costa de Araujo-Gustavo André” (CG).

El presente trabajo muestra los resultados de la evaluación de la salinidad del agua freática expresada como salinidad total a 25°C (CE) para las dos áreas de estudio. Las muestras han sido extraídas en los años 2002 y 2004. Los resultados obtenidos indican que en los dos momentos de muestreo la mediana es menor que la media correspondiente, lo que indica asimetría positiva en las distribuciones, las medianas obtenidas fueron: 6180 μ S cm-1 (año 2002) y 6195 μ S cm-1 (año 2004). Además se observan cambios en las distribuciones entre los momentos de muestreo y entre las áreas, en el año 2004 aparecen valores extremos superiores mucho mayores que en 2002, y el área VL acusa frecuencias relativas más uniformes y los mayores incrementos de CE. Se distingue también que en los dos momentos de muestreo el área “AS” posee los valores de posición de CE más bajos, aunque también es la zona con mayor cantidad de outliers, que las áreas “TMJ”, “CG” y “AS” no han sufrido cambios importantes en los valores de CE en dos años, pero sí se advierte un sensible aumento de la CE en “VL”. Con la base de datos depurados se realizaron isolíneas para diferentes intervalos de la variable analizada (CE) que muestran espacialmente los sectores afectados con los distintos intervalos de salinidad freática, como se puede observar en el mapa de isolanidad.

Palabras clave: freatómetros, contaminación salina, agua subterránea, Argentina.

INTRODUCCIÓN

El riego se aplica en Argentina desde épocas precolombinas. Los colonizadores comprobaron la existencia de zonas regadías en Mendoza, Salta, Santiago del Estero y Jujuy. La experiencia española contribuyó significativamente al manejo del recurso. A fines del siglo XIX, se inicia una etapa de racionalización del uso del agua de los ríos, por el énfasis puesto en la construcción de nuevos diques y obras de derivación (Mendoza, San Juan, Tucumán y luego los estudios en los ríos Negro y Colorado). A partir el año 1992 la Nación realiza una transferencia de la responsabilidad del desarrollo de las obras de riego a las provincias y se inicia un proceso de descentralización para incentivar la participación de los usuarios en el manejo del agua. Las empresas privadas también participan de la expansión del área cultivada bajo riego, principalmente con agua subterránea. Se sabe que en el ámbito nacional el uso agrícola del agua representa un 70% del total, llegando en las áreas desérticas a un 90%.

La Argentina disponía al año 1994 de 1.626.910 ha bajo riego, superficie que representa el 27% de la superficie potencial y lamentablemente no se dispone de mejor información. Estimaciones globales indican que la producción de las áreas regadías contribuyen con el 30% del PBI nacional sectorial.

La eficiencia de los sistemas de riego en Argentina es baja, inferior al 40% y en algunas provincias los derechos de riego han sido totalmente otorgados. Por lo tanto el aumento de la superficie cultivada implica un aumento de la eficiencia de riego. Esto último, además de varios años de sequía y buenos precios de los productos agrícolas en la década del 90 generó una importante inversión en riego presurizado sobre todo en las áreas de riego complementario. Se estima que aproximadamente el 5% de la superficie nacional se riega con equipos de alta tecnología.

La baja eficiencia de riego parcelario y las importantes pérdidas por infiltración en la red de riego ha originado la aparición de importantes problemas de salinización y saturación de los suelos. Esta situación afecta negativamente en la capacidad productiva de los mismos.

El último diagnóstico nacional sobre las áreas degradadas por salinidad y anegamiento fue realizado por el INTA en el año 1984 y detectó que el 40% de las áreas regadas del país tienen algún grado de limitación por problemas de salinidad y/o drenaje y que, la proporción del problema esta balanceada en partes casi iguales (salinidad y drenaje). Más del 84% de las áreas afectadas se encuentran en las provincias de Mendoza, San Juan, Río Negro, Tucumán, Santiago del Estero y Salta. Según datos más actualizados sobre estas provincias referidos a superficie afectada (salinidad o freática) respecto a la regada, indicarían que esa relación es inferior al 30%. A los fines del presente estudio se ha considerado áreas afectadas con problemas de drenaje a aquellas que cuando están cultivadas con hortalizas presentan el nivel freático comprendido entre la superficie del suelo y hasta 1,5 metros por debajo del mismo. Para el caso de otros cultivos con raíces más profundas –frutales y forestales- se ha considerado una profundidad de hasta de 2 m.

La provincia de Mendoza, es la que tiene la mayor superficie regada del país y por su condición semidesértica, su desarrollo y la vida de sus habitantes se deben exclusivamente al aprovechamiento integral de sus recursos hídricos. Una vasta infraestructura de riego que hace posible su aprovechamiento se desarrolló en cada uno de los cinco ríos que se destinan al riego: Mendoza, Tunuyán, Diamante, Atuel y Malargüe. La figura 1 presenta las áreas de riego de Mendoza y sus ríos.

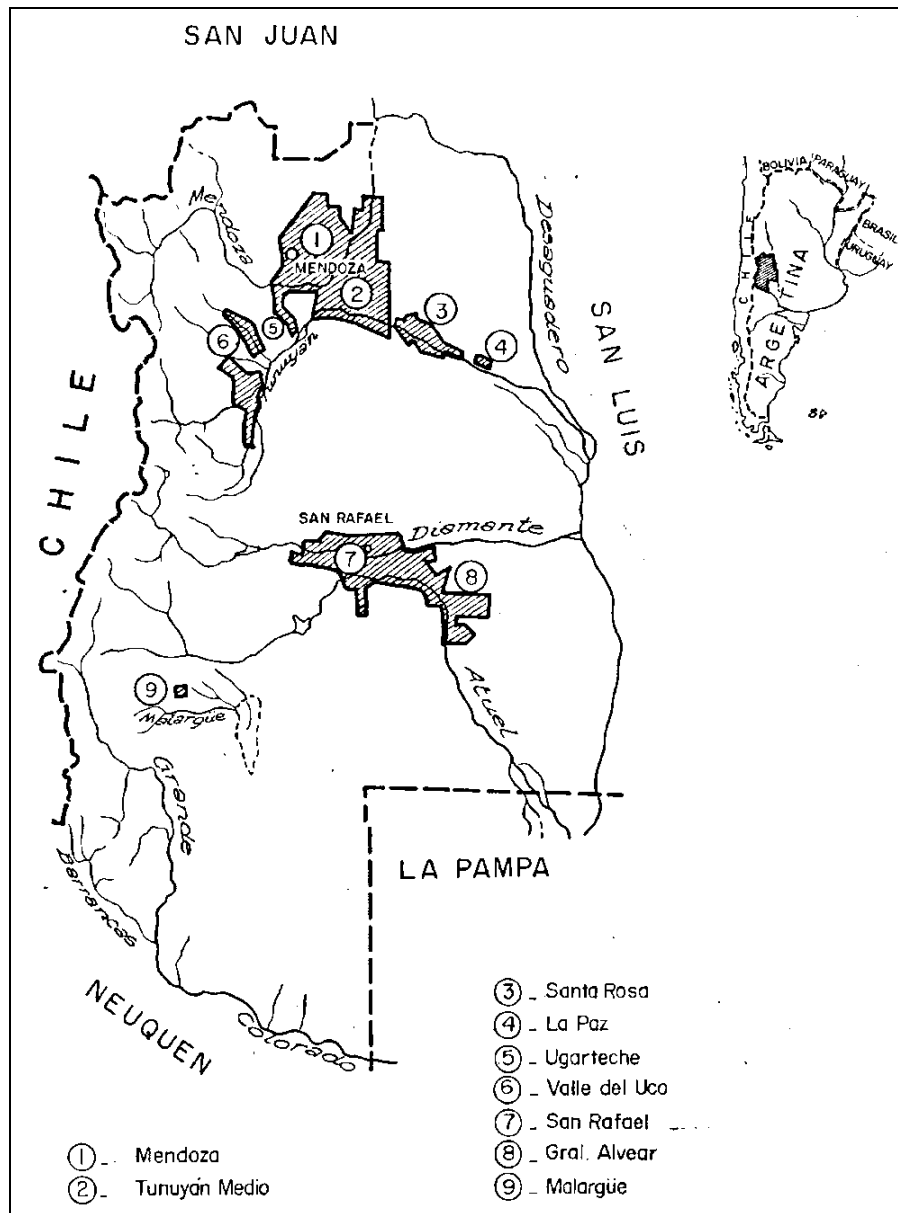


Figura 1. Areas de riego de la provincia de Mendoza

El oasis norte de la provincia de Mendoza es una de las áreas agrícolas más intensamente explotadas del país y comprenden las áreas regadías de los ríos Mendoza y Tunuyán inferior. De acuerdo a una prolija revisión de los relevamientos existentes, el área de riego del río Mendoza presenta dos importantes sectores con problemas de freática cercana a superficie, asociados con problemas importantes de salinidad (no sodicidad) en los suelos.

Dichos sectores corresponden a una zona central llamada Área de Surgencia “AS” y a otra, un poco más distal, ubicada hacia el extremo noreste del oasis Área Lavalle “AL”.

La denominada “área de surgencia” tiene forma de “media luna” y comprende los distritos de: La Isla, Santa Blanca, Fray Luis Beltrán, Kilómetro 8, La Primavera, Los Corralitos, Colonia Molina y El Algarrobal, pertenecientes a los Departamentos Maipú, Guaymallén y Las Heras, respectivamente.

Los suelos son intrazonales, ricos en materia orgánica, con tendencia a la salinización. En general hay un horizonte orgánico en superficie con o sin concreciones y estrías salinas, el cual puede estar

sepultado y soportando una capa de sedimento areno limoso. Estas capas descansan a su vez sobre arcillas que impiden o retardan la percolación de las aguas de riego. Hay zonas donde pueden presentarse capas de tosca (carbonato de calcio) con grietas por donde penetra el agua que disuelve el material, produciéndose sumideros y volcanes de agua.

El “área de surgencia” es la zona hortícola más importante de la Provincia de Mendoza pues el 56 % del total de las fincas hortícolas de la provincia se encuentran allí (Dptos. Maipú y Guaymallén) abasteciendo de verduras durante todo el año al gran Mendoza al igual que a los principales mercados de Buenos Aires.

La década de 1980, coincidente con un ciclo hidrológico rico, provocó generalizadas elevaciones de niveles freáticos que, sumadas a la desatención en el mantenimiento de los colectores de drenaje, ocasionó graves problemas de revenición de suelos en una importante superficie cultivada. Por tal motivo, el Departamento General de Irrigación (DGI), implementó el Plan Provincial de Drenaje (1884-1988) del que participaron varios organismos provinciales, regionales y nacionales.

Con el objeto de efectuar las prospecciones de los niveles freáticos y poder conocer las profundidades, direcciones de flujos y calidad del agua, el DGI construyó en 1986 una red de 98 pozos de observación (freatímetros) que consiste en perforaciones de 3 metros de profundidad, distanciadas 2 kilómetros entre sí.

En el DGI, con los registros de las lecturas sistematizadas en el tiempo se elaboró la tabla 1 que presenta las áreas afectadas (ha) y los porcentajes respecto del total, por estrato de profundidad de suelo (desde 0 hasta más de 2,5 m).

Tabla 1: Superficie afectada por problemas de drenaje en el área regada de Surgencia del río Mendoza (fuente Ortíz Maldonado, 2001)

Profundidad de la freática (m)	Superficie afectada			
	Máxima (ha)	Máxima (%)	Media (ha)	Media (%)
0,0 – 0,5	297	0.9%	0	0.0
0,5 – 1,0	16122	46.5%	1496	4.3
1,0 – 1,5	10634	30.7%	11733	33.8
1,5 – 2,0	6257	18.0%	12593	36.3
2,2 – 2,5	1230	3.5%	6423	18.5
2,5 o más	147	0.4%	2442	7.0
Total	34687	100.0%	34687	100

La superficie afectada denominada “máxima” corresponde a la peor situación que podría llegar a producirse (altos niveles de agua freática) y la superficie afectada denominada “media” corresponde a la situación más normal.

De los gráficos de los hidrogramas correspondientes a la serie 1989-1996 se desprende que: los niveles freáticos medios mensuales oscilan entre un mínimo de 1,4 y un máximo de 2,1 metros de profundidad. Analizando la tabla 1 se puede concluir que el 38,1 % del área estudiada (13229 ha) tiene problemas de drenaje con freática comprendida hasta 1,5 metros de profundidad ya que se trata de una zona eminentemente hortícola.

El río Mendoza en su tramo inferior abastece a los departamentos de Lavalle y San Martín caracterizados por ser fundamentalmente agrícolas. Su topografía es llana con tierras de origen aluvial y

eólico, de textura predominante franco y franco - arcillosa con alternancia de capas de textura más finas, con concreciones y estrías salinas sobre arcilla plástica rojiza.

Sobre la base de la red de 100 freatímetros existentes (DGI, 1983), Ortíz Maldonado realizó en el año 2000 un estudio, para el que dividió al Departamento de Lavalle en tres sistemas correspondientes a tres grandes colectores de drenajes que definen a sus respectivas subáreas: “Tres de Mayo - Jocolí, “Villa Lavalle” y “Costa de Araujo - Gustavo André”.

La tabla 2 presenta una situación realista de la zona en estudio: considerando las isolíneas medias de la serie estudiada, el 49 % del área resultaría seriamente afectada (23091 ha) con el nivel freático a menos de 2m ya que en dicha área se cultiva principalmente vid y frutales.

Tabla 2: Área afectada con problemas de revenición en Lavalle – Mendoza (Ortíz Maldonado, 2000) Isolíneas medias de la serie 1983/97.

Profundidad del Nivel freático (m)	Afectación	
	Superficie (ha)	Porcentual (%)
0,0 - 0,5	0	0
0,5 - 1,0	0	0
1,0 - 1,5	6028	13
1,5 - 2,0	17063	36
2,0 - 2,5	10973	23
> 2,5	12714	27
Total	46778	100

Ahora bien, no sólo resulta importante conocer la profundidad de los niveles freáticos sino también la calidad del agua, ya que la peligrosidad freática aumenta en forma directa con el aumento de la salinidad, recudiendo también la aptitud productiva de los suelos.

Recientemente Morábito y otros (2004) presentan datos de análisis de agua de la red de riego y drenaje de la zona regadía del río Mendoza. Así pues sobre la base de muestras de agua extraídas en 6 puntos de la red de drenaje, que ocasionalmente suelen recibir agua de desagüe -que es de mejor calidad- dan los siguientes valores medios y desviación estándar de los siguientes parámetros: pH = 7,98 (\pm 0,19) a 7,80 (\pm 0,18); salinidad total expresada como conductividad eléctrica CE (μ S cm^{-1}) = 5086 (\pm 603) a 1878 (\pm 623); relación de adsorción de sodio RAS = 7,64 (\pm 2,39) a 1,88 (\pm 0,63). Los mismos autores califican las aguas de drenaje según Riverside modificada por Thorne y Petersen (Chambouleyron et al., 2002) C4S1 y C3S1, con datos puntuales de peligrosidad salina “media alta” y peligrosidad sódica “baja a muy alta”.

OBJETIVOS

El presente trabajo tiene por objeto analizar la variable salinidad total del agua freática expresada en μ S.cm-1 a 25 °C (CE) para las dos subáreas con problemas de drenaje subsuperficial del río Mendoza: área de Surgencia “AS” y área Lavalle “AL”. Se plantea también como objetivo realizar un análisis de la variabilidad y obtener mapas para el análisis espacial. Se pretende además generar una base de datos que contribuya a analizar la evolución de la salinidad en el tiempo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron dos campañas de medición y toma de muestras de agua freáticas en las dos áreas de estudio, con fechas junio 2002 y agosto de 2004. Se realizó análisis exploratorio de los datos considerando todas las observaciones en los dos momentos de muestreo: 2002 y 2004. Se calcularon medidas de tendencia central (media, mediana y percentiles) y de dispersión (varianza y desviación estándar). Se realizaron diagramas de caja según las distintas áreas, y se elaboraron histogramas de frecuencias relativas según momento de muestreo y área.

Con el fin de encontrar posibles valores outliers o leverage se realizó diagnóstico de influencia a través del cálculo de los residuos estudentizados y de los elementos de la diagonal de la matriz HAT. Una vez eliminados aquellos registros en los que no existían lecturas de conductividad eléctrica en los dos momentos de muestreo, se eliminaron las observaciones con $h_{ii} > 0,0426$ ($=2p/n$) ó con $r_{student} > |2|$.

Con la base de datos depurada se realizaron superficies de interpolación de CE, mediante el método de los vecinos más cercanos.

RESULTADOS

Análisis descriptivo

La tabla 3 presenta los valores medios, la desviación estándar, la varianza y el número de observaciones de la variable CE para los años 2002 y 2003.

Tabla 3: Estimadores muestrales según momento de muestreo

Estimador / año	2002	2004
Media ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	8475	11341
Desviación estándar ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	7587	14088
Varianza ($\mu\text{S cm}^{-1}$) ²	$5,76 \cdot 10^7$	$1,98 \cdot 10^8$
Número de observaciones	105	130

Se observa un aumento del 34 % en la conductividad eléctrica media desde 2002 a 2004. La tabla 4 presenta los percentiles para los dos momentos de muestreo.

Tabla 4: Percentiles según momento de muestreo

Percentiles (%)	CE 2002 ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	CE 2004 ($\mu\text{S cm}^{-1}$)
1	1707	1674
5	1878	2380
10	2390	2580
25	3750	4130
50	6180	6195
75	9620	12120
90	18090	23550
95	24900	36990
99	38200	67900

En los dos momentos de muestreo la mediana es menor que la media correspondiente, lo que indica asimetría positiva en las distribuciones. La figura 2 muestra el histograma de frecuencias relativas de todas las muestras del año 2002. La figura 3 es similar pero en ella se ha desagregado cada una de las sub áreas mencionadas: 3 de Mayo Jocolí (3_Mayo_Joco), Costa de Araujo y Gustavo André (Arauj_Andre), área de surgencia (Surgencia) y área Lavalle (A-Lavalle).

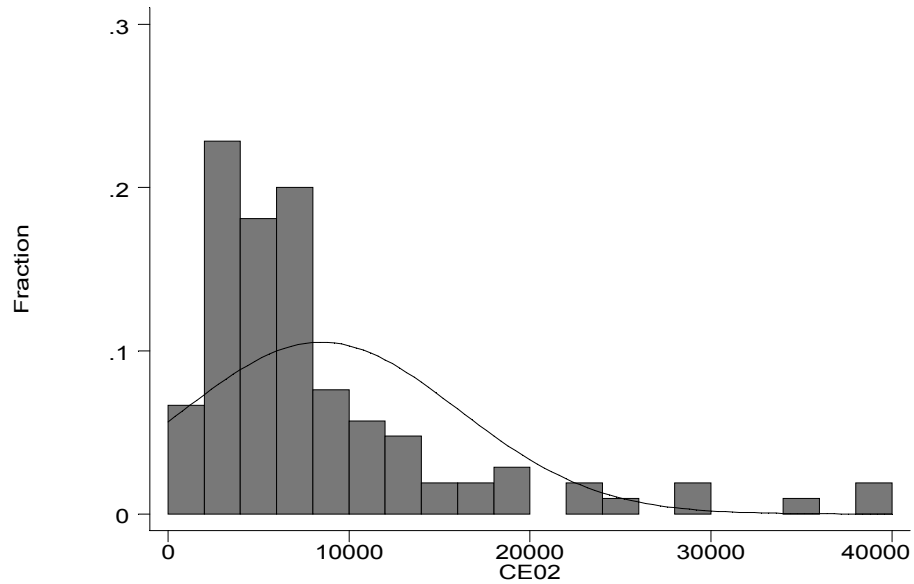


Figura 2. Histograma de frecuencias relativas de CE_2002 ($\mu\text{S cm}^{-1}$)

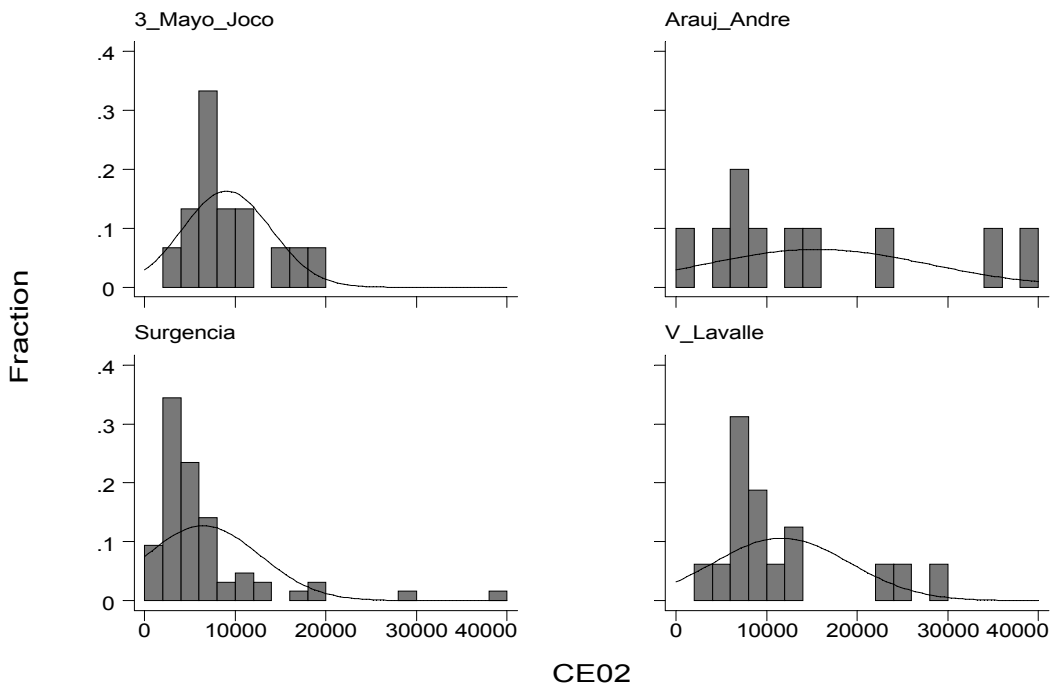


Figura 3. Histogramas de frecuencias relativas de CE_2002 ($\mu\text{S cm}^{-1}$), según área

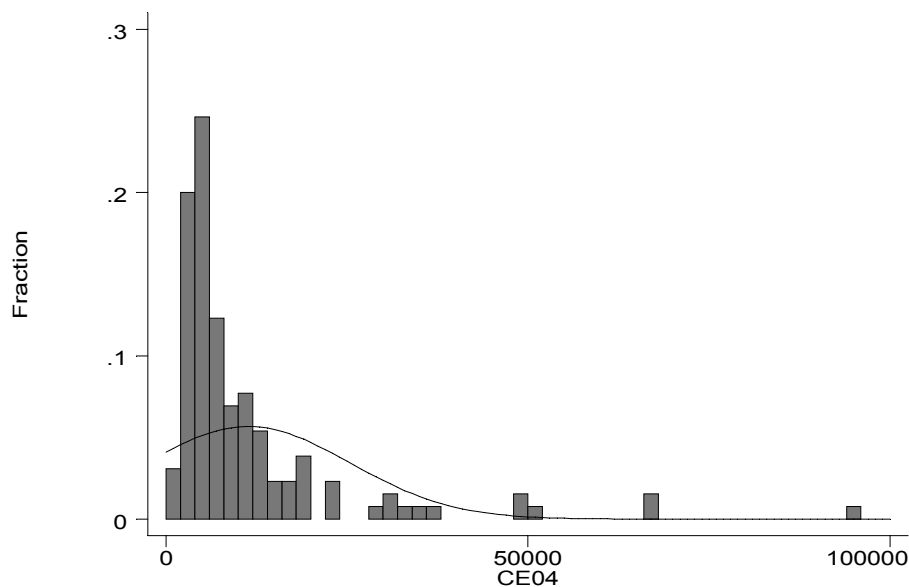


Figura 4. Histograma de frecuencias relativas de CE_2004 ($\mu\text{S cm}^{-1}$)

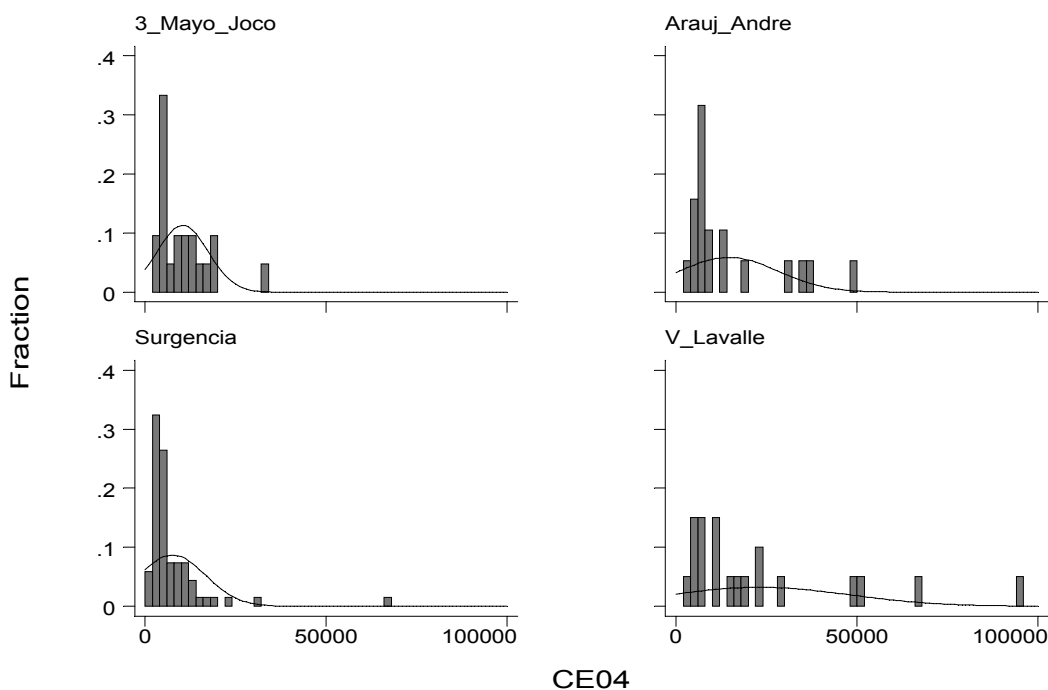


Figura 5. Histogramas de frecuencias relativas de CE_2004 ($\mu\text{S cm}^{-1}$), según área

Si se comparan las figuras 2, 3, 4 y 5 se observan cambios en las distribuciones entre los momentos de muestreo y entre las áreas. En 2004 aparecen valores extremos superiores mucho mayores que en 2002. El área de Villa Lavalle acusa frecuencias relativas más uniformes y los mayores incrementos de CE.

Las figuras 6 y 7 muestran que en los dos momentos de muestreo el área de Surgencia posee los valores de posición de CE más bajos, aunque también es la zona con mayor cantidad de outliers. Se observa que las áreas 3 de Mayo – Jocolí, Araujo – André y Surgencia no han sufrido cambios

importantes en los valores de CE en dos años, pero sí se advierte un sensible aumento de la CE en Villa Lavalle.

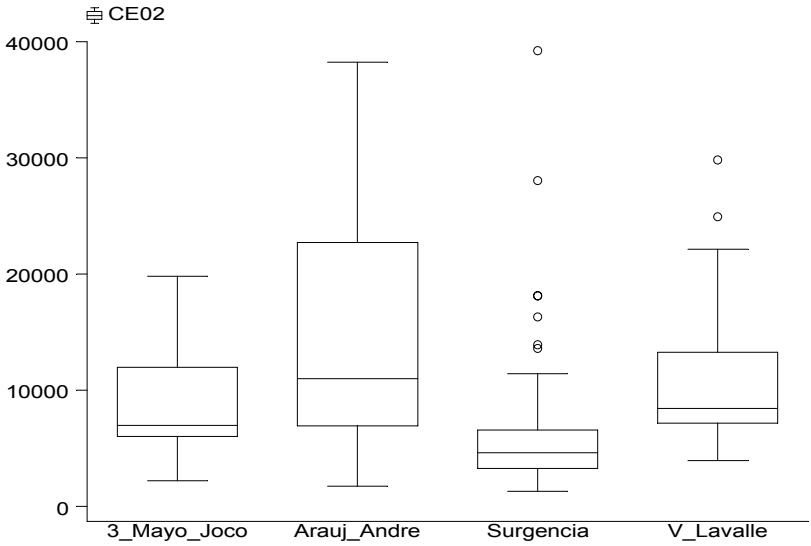


Figura 6. Diagrama de caja de CE_2002 ($\mu\text{S cm}^{-1}$) según área

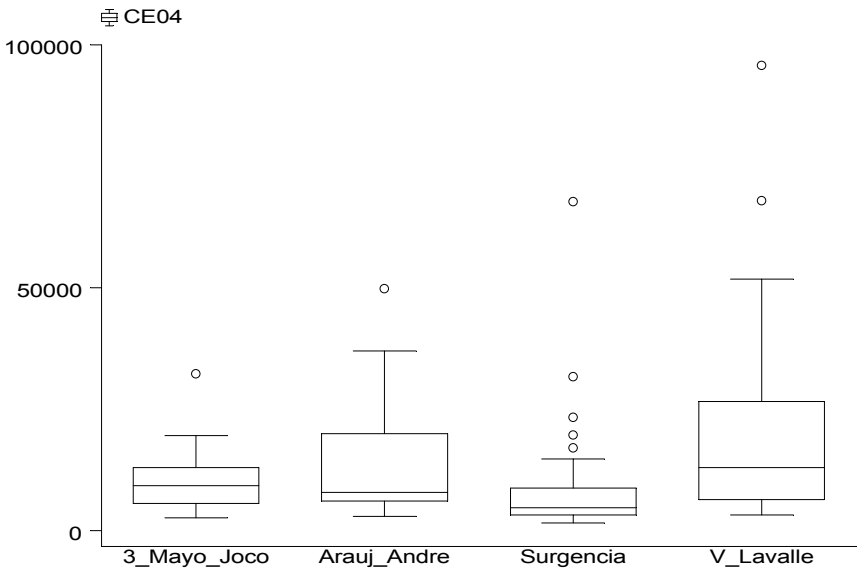


Figura 7. Diagrama de caja de CE_2004 ($\mu\text{S cm}^{-1}$) según área

Diagnósticos de influencia

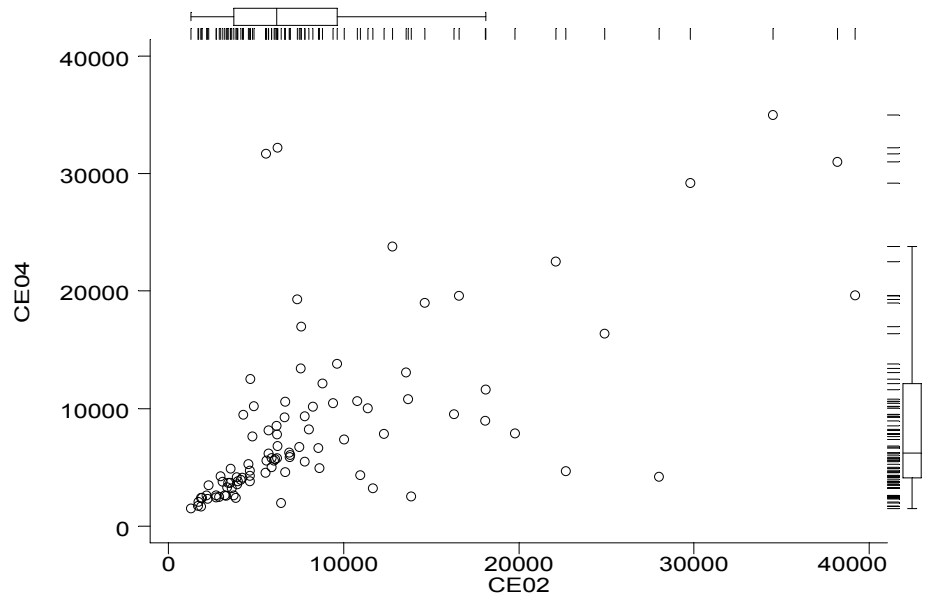


Figura 8. Gráfico de dispersión CE_2004 vs CE_2002 y diagramas de caja de cada una de las variables

Se observan numerosos outliers y leverage.

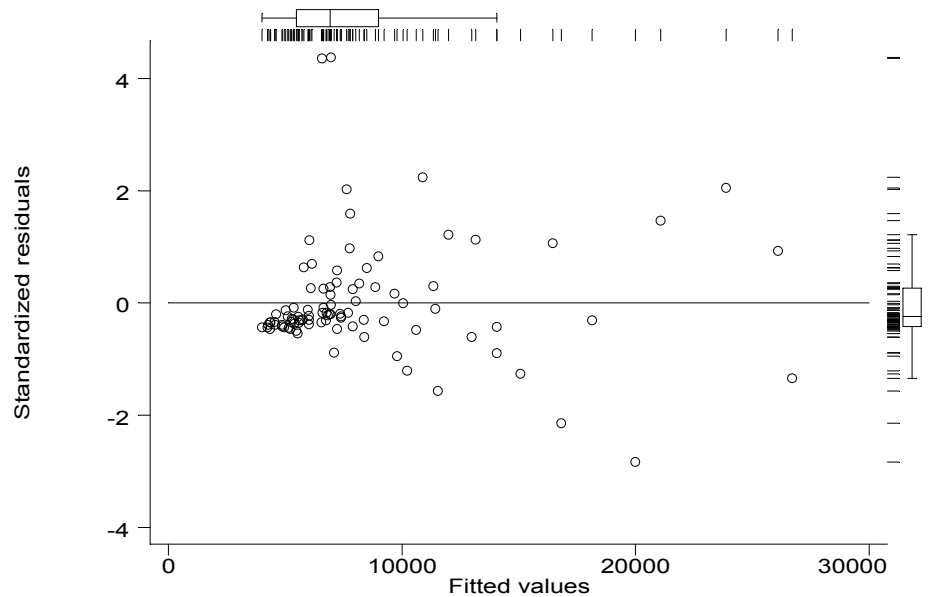


Figura 9: Gráfico de residuales estandarizados versus valores predichos, diagramas de correspondientes

Se observa que la varianza de los términos de error ε_i no es constante. Con la base de datos depurados se realizó el gráfico de dispersión (figura10) y las figuras 11 y 12 que muestran las isolíneas de igual valor de salinidad freática.

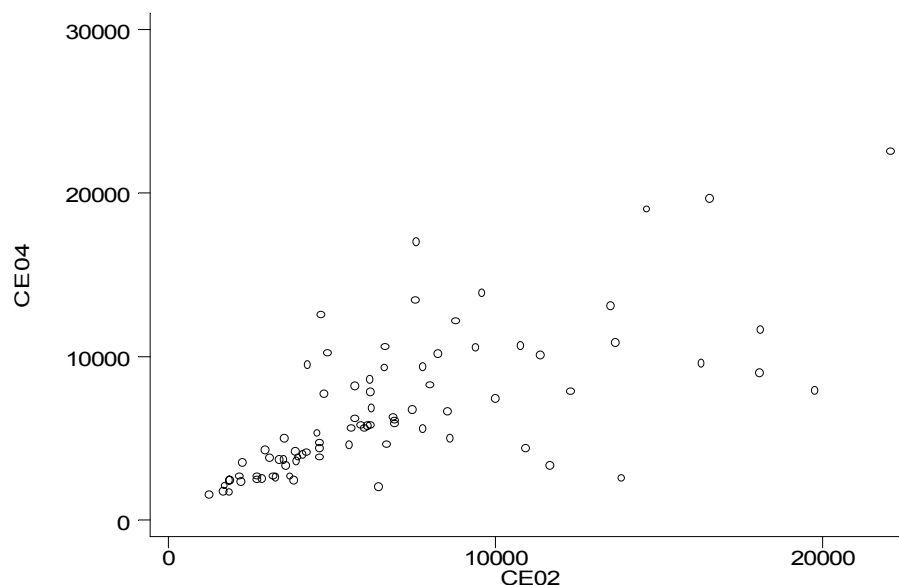


Figura 10. Gráfico de dispersión CE_2004 vs CE_2002, de observaciones depuradas

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los organismos provinciales y nacionales responsables del manejo de los recursos naturales (agua y suelo) deberían asegurar un monitoreo permanente del estado de los niveles freáticos y de los suelos, para disponer de indicadores certeros sobre su evolución en el tiempo. La preservación del recurso agua subterránea tanto en calidad como en cantidad requiere, en su estratégico papel para el desarrollo futuro, de una cuidadosa y actualizada evaluación, en el ámbito de cada una de las administraciones provinciales.

Planificar visitas de técnicos y agricultores a áreas recuperadas, para conocer los planes de operación y mantenimiento de los sistemas de riego y drenaje e intercambiar experiencias, podría constituir alternativas interesantes para contribuir a educar y crear conciencia de la importancia del adecuado mantenimiento de la red de riego.

Debería además analizarse el impacto económico y ambiental de la recuperación de las áreas afectadas y evitar la sobre-explotación y contaminación de los acuíferos utilizados, el deterioro de la calidad del agua, etc., que pudiera estar ocurriendo.

Se recomienda evaluar la maquinaria y la tecnología que se está usando actualmente para el mantenimiento de las redes de drenaje. Del estudio técnico económico deberá surgir la necesidad o no, de adquirir nuevas maquinarias más modernas y eficientes. La capacitación de los maquinistas locales deberá ser considerada.

Es recomendable, simultáneamente con el estudio detallado por zona, proyectar y ejecutar pequeños proyectos pilotos (uno por cuenca) que permitan verificar “in situ” las ventajas e inconvenientes que se pudieran producir en la recuperación de las zonas afectadas, así como promover y difundir a los productores las ventajas comparativas. Es de hacer notar que en el caso de Mendoza, existen propiedades que poseen sistema de drenaje parcelario, que podrían eventualmente ser utilizadas como propiedades pilotos.

También sería recomendable realizar un análisis del impacto, en la disminución de los problemas de salinización y disminución de los niveles freáticos, que produce la impermeabilización de cauces de riego ya realizada y analizar el plan de impermeabilizaciones y entubamiento previsto.

Incentivar y premiar el uso eficiente del agua en las propiedades agrícolas, dando ventajas económicas para la tecnificación del riego en finca (goteo, micro aspersión, caudal discontinuo, etc.).

Evitar o minimizar los impactos de la contaminación en general y muy especialmente en de la contaminación urbana sobre las áreas de riego, aguas debajo de las ciudades. Un caso particular es el vuelco de las acequias urbanas a los cauces de riego con la consecuente contaminación de los productos agrícolas de las áreas ubicadas aguas abajo.

BIBLIOGRAFÍA

- Ayers, R.S. y Westcot, D.W.** “Calidad del agua para la agricultura” de la FAO, n°29 Rev. 1. Año 1987.
- Chambouleyron J., S.E. Salatino, A. Drovandi, M.F. Filippini, R. Medina, M. Zimmermann, N. Nacif, C. Dediol, A. Camargo, S. Campos, D. Genovese, R.M. Bustos, M. Marre, E.R. Antonioli.** (2002). Conflictos ambientales en tierras regadías. Evaluación de impactos en la cuenca del río Tunuyán, Mendoza, Argentina. Primera edición. UNCuyo- FONCYT- INA. Mendoza, Argentina
- Departamento General de Irrigación.** (1996). Reglamento general para el control de contaminación hídrica – resolución 778. Mendoza – Argentina.
- Escurre, J** (1990). Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación , FAO. “Áreas Pilotos para la Rehabilitación de Tierras Degradadas por Empantanamiento y/o Salinidad en San Juan y Mendoza, Argentina”, GCP/RLA/084/JPN. Documento de campo 10, 1990.
- FAO** Irrigation and drainage paper 29. Water quality for agriculture. 1976. Rome – Italy.
- Morábito J.** (1997). El riego en el mundo, Argentina y Mendoza. Publicación interna INA- CRA.
- Morábito J., S. Salatino, R. Medina de Días, M. Zimmermann, C. Dediol, N.Nacif, S. Campos, D.Genovese, M. Filippini, A. Bermejillo, C. Mirábile, P. Pizzuolo, L. Mastrantonio.** (2004). Eficiencia de riego y calidad del agua en el área regadía del río Mendoza, Argentina. Informe de avance a SECyT UNCuyo abril 2004. Mendoza – Argentina.
- Ortiz Maldonado, G** (1987). “Anteproyecto de Saneamiento del Área de Riego del Río Mendoza - Departamento de Lavalle”. Publicación Técnica n° 7- Departamento General de Irrigación.
- Ortiz Maldonado, G.** (1988) Instalación de Redes Freatimétricas en las Áreas Irrigadas de la Provincia de Mendoza. Publicación Técnica n°11- Departamento General de Irrigación, Facultad de Ciencias Agrarias-UNC. Mendoza-Argentina.