

## ANÁLISIS Y EVOLUCIÓN DEL PROCESO DE SALINIZACIÓN DEL SISTEMA ACUÍFERO ANTINACO – LOS COLORADOS EN LAS COLONIAS VICHIGASTA Y CANTIZACO, LA RIOJA, ARGENTINA

<sup>1</sup>Miguel, Roberto E.; <sup>2</sup>Tálamo, Esteban; <sup>3</sup>Cristos, Diego; <sup>1</sup>Gonzalez Ribot, Joaquín; <sup>2</sup>Chayle, Luis

<sup>1</sup> INTA EEA Chilecito. Ruta de la Producción Km 7 – 5361 Tilimuqui, Chilecito, La Rioja, Argentina.  
Tel. +54 3825 420105 [miguel.roberto@inta.gob.ar](mailto:miguel.roberto@inta.gob.ar)

<sup>2</sup> CONHIDRO S.R.L. <sup>3</sup> INTA Instituto de Tecnología de Alimentos [cristos.diego@inta.gob.ar](mailto:cristos.diego@inta.gob.ar)

### Resumen

En las Colonias Agrícolas de Vichigasta y Catinzaco, situadas al Suroeste del Valle central Antinaco - Los Colorados, se desarrollaron importantes plantaciones de olivo y vid. La superficie cultivada es de 6.600 ha., abasteciéndose de agua subterránea con pozos profundos. En el año 2006 se detectó un incipiente proceso de salinización desconociéndose su origen. El sistema acuífero es multicapa, con una compleja distribución de materiales. El objetivo del trabajo fue analizar el proceso de salinización, sus causas y evolución. Se efectuó el análisis de información hidrodinámica e hidroquímica antecedente, se relevaron las prácticas de riego, fertilización, uso de agroquímicos y el manejo de efluentes agroindustriales. Se realizó una actualización hidrodinámica con mediciones de niveles estáticos en 17 pozos y se extrajeron 12 muestras de agua en las que se determinó pH, temperatura, conductividad eléctrica (CE), iones mayoritarios, 100 agroquímicos y presencia de compuestos fenólicos. Los resultados indican una convergencia del flujo subterráneo hacia el sector cultivado acompañado de una profundización de los niveles estáticos de 30 metros respecto al año 1974. Se observa que pozos no salinizados en el año 2006 presentan incrementos de CE entre 23 % y 182 %. Los iones  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{NO}_3^-$  han registrado un marcado aumento de su concentración. No se halló concentración de agroquímicos por encima del límite de cuantificación, pero sí presencia de compuestos fenólicos asociados a la disposición deficiente de efluentes del procesamiento del olivo y vid. Las disposiciones no controladas y los retornos de riego –con sales y fertilizantes– han llegado a las capas superiores del sistema acuífero salinizándolo.

**Palabras claves:** efluentes, riego, salinización, contaminación, acuífero semilibre.

### Abstract

Agricultural areas of Vichigasta and Catinzaco, located Southwest of the central Valley Antinaco - Los Colorados, have important olive and vine plantations. The cultivate area reach 6,600 ha that uses groundwater. In 2006, an incipient process of salinization was detected. The aquifer system is multilayered, with a complex distribution of materials. The aim was to analyze the process of salinization, its evolution and causes. An analysis of hydrodynamics and hydrochemistry background information was made. The irrigation practices, fertilization, use of agrochemicals and the management of agro-industrial wastewater were described. 17 water table levels were measured and 12 groundwater samples were collected in which pH, temperature, electrical conductivity (EC), major ions, 100 agrochemicals and presence of phenolic compounds were determined. The results indicate a convergence of groundwater flow to the cultivated area. In addition, the water table shows a depletion of 30 m. Non-salinized wells in 2006 show an EC increases between 23% and 182%. Also,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  and  $\text{NO}_3^-$  ions show an increase. Agrochemicals were not found, however phenolic compounds associated with wastewater of olives and vines were found. The non-treatment wastewaters and the irrigation overwatering have reached the aquifer generating an increase on the groundwater salt concentration.

**Keywords:** wastewater, irrigation, salinization, pollution, unconfined aquifer.

## INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

La cuenca Antinaco - Los Colorados, con 8.200 km<sup>2</sup>, es uno de los oasis productivos más importantes del Noroeste Argentino. Limita al Norte con la localidad de Pituil, al Oeste con las Sierras de Famatina, al Este con las Sierras de Velasco y al Sur con unos afloramientos conocidos como Los Colorados. Su origen es tectónico, con un complejo sistema de fallas que ha conformado una depresión de aproximadamente 2.900 km<sup>2</sup> la cual acumuló un importante volumen de agua subterránea. El desarrollo de la agricultura irrigada, la agroindustria y el abastecimiento de poblaciones se efectúa casi integralmente con agua subterránea.

Al Sur del Valle Central Antinaco - Los Colorados se localizan las Colonias Agrícolas 6 y 7 pertenecientes a las subáreas de Vichigasta y Catinzaco; respectivamente. En éstas se han desarrollado emprendimientos productivos para el cultivo de olivo y vid que individualmente varían entre 50 y 1.500 ha, con una superficie total aproximada de 6.600 ha. Además, se han radicado actividades agroindustriales para el agregado de valor de los productos agrícolas como bodegas, fábricas de aceite de oliva y aceitunas de mesa.

En el año 2006 el INA CRAS advierte en algunos pozos la presencia de importantes tenores salinos y altas concentraciones de nitrato, poniendo de manifiesto que la disposición de efluentes de la agroindustria podría ser la principal causante del proceso de salinización. Desde este último antecedente no se han elaborado nuevos trabajos que analicen las posibles causas de la salinización como así su evolución, es por ello que el objetivo de este documento fue analizar las causas del proceso de salinización y su evolución en las Colonias Agrícolas de Vichigasta y Catinzaco.

## METODOLOGÍA

En la Figura 1 (A) se presenta la Cuenca Antinaco Los Colorados y la zona de estudio. Allí se seleccionaron 12 pozos en base a tres criterios, pozos que erogan agua salinizada detectados en 2006 (INA CRAS), pozos con recientes problemas de salinización y pozos no salinizados próximos a pozos salinizados.

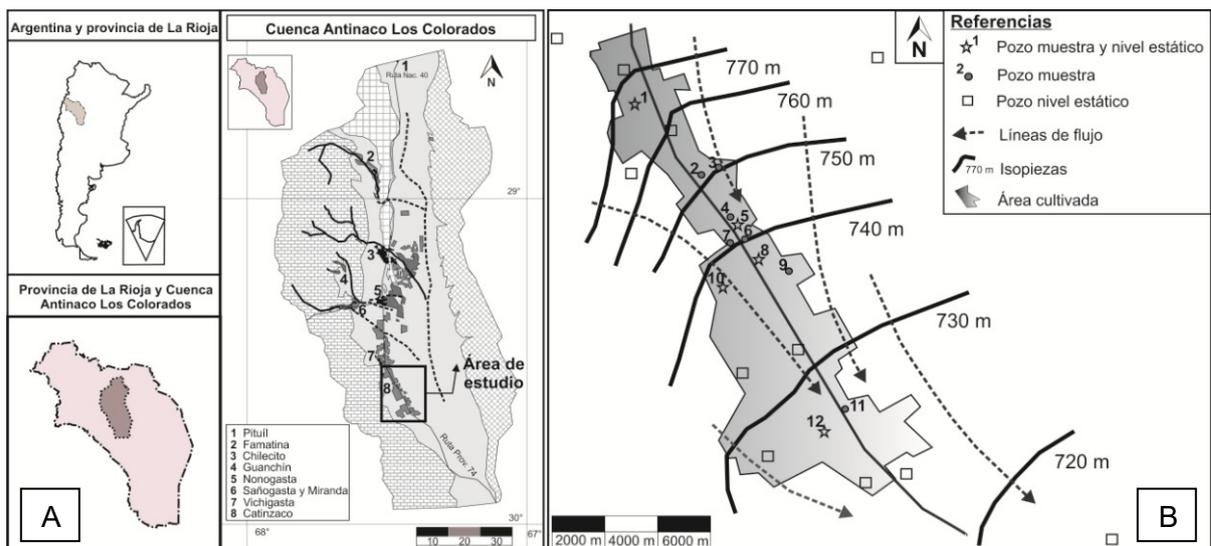


Figura 1. (A) Área de estudio (B) Ubicación de pozos y piezometría. Elaboración propia.

Adicionalmente se obtuvo información de los diseños (localización de filtros) de cuatro de los 12 pozos muestreados. Se sumaron al estudio otros 16 pozos en los que se midieron niveles estáticos, lo que permitió efectuar un mapa de isopiezas y evaluar la hidrodinámica de la subárea Figura 1 (B).

En octubre de 2015 se extrajeron 12 muestras de agua subterránea determinándose en campo pH, temperatura y conductividad eléctrica (CE) con Multiparamétrico Hanna 9811-5. En recipientes de 500 mL se colectaron muestras y se almacenaron a 4°C para analizar la concentración de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  y  $\text{NO}_3^-$ . En adición, se colectaron y se congelaron muestras en tubos Falcon de 50 mL para determinar concentraciones de agroquímicos y la presencia de compuestos fenólicos. En la Tabla 1, se presentan los elementos, compuestos determinados y las metodologías analíticas utilizadas. Con fines comparativos, los resultados de iones mayoritarios se cotejaron con la información antecedente del INA CRAS para la subárea.

Tabla 1. Analitos, métodos y metodologías aplicadas.

Analito	Metodología de análisis	Método estandarizado
$\text{Ca}^{2+}$	Volumétrico	APHA 2340 C
$\text{Mg}^{2+}$		
$\text{Na}^+$		
$\text{K}^+$	Fotometría	SAMLA-SAGPYA, 2005
$\text{HCO}_3^-$	Volumétrico	APHA 2320 B
$\text{Cl}^-$	Volumétrico	APHA 4500 B
$\text{SO}_4^{2-}$	UV-Visible	APHA 4500 B
$\text{NO}_3^-$		
100 agroquímicos <sup>†</sup>	Cromatografía líquida o gaseosa acoplado a espectrometría de masas	Vázquez Amabile et al., 2014
Compuestos fenólicos	Cromatografía gaseosa	

<sup>†</sup> Agroquímicos determinados: 2,4-D; Abamectina; Acetamiprid; Acetoclor; Alaclor; Aldicarb; Aldicarb-sulfona; Aldicarb sulfóxido; Aldrin; Amitraz; Atrazina; Azinfos-metilo; Azoxistrobil; Bifentrin; Captan; Carbarilo; Carbendazim; Carbofuran; Carbosulfan; Alfa-endosulfan; Beta-Endosulfan; Endosulfan sulfato; Endrin; Esfenvalerato; Etion; Etoprofos; Famoxadona; Fenazaquin; Fenitrotion; Fenoxycarb; Fipronil; Fludioxonil; Imazalil; Imidacloprid; Kresoxim-metilo; Linuron; Lufenuron; Metalaxil; Carboxin; Clorpirifos; Clorpirifos-metilo; Clorfentazine; Ciprodinil; Diazinon; Difenconazol; Dimetoato; fenvalerato; Fluvalinato; Folpet; Gamma-cihalotrina; Lindano; alpha-HCH; beta-HCH; delta-HCH; Heptacloro; Heptacloro Epóxido; Hexaclorobenceno; Malation; Metidation; Metomil; Oxamyl; Penconazol; Pirimifos-etilo; Pirimifos-metilo; Piraclostrobin; Tebuconazol; Tiabendazol; Tiacloprid; Acefato; Fenpiroximato; Glifosato+AMPA; Hexitiazox; Paraquat; Propargite; Tiametoxam; Tiodicarb; Triadimenol; Monocrotofos; Ometoato; p,p'-DDD; p,p'-DDT; Paration; Paration-metilo; Permetrina; Posmet; Triazofos; Clorotalonil; Coumafos; Cylflutrina; Cialotrina lambda; Cipermetrina; DDE, p,p'-; DDT, o,p'-; Deltametrina; Diazinon; Dieldrin; Diclorvos; Dieldrin.

Previo al análisis de datos y la discusión, se describió el modelo conceptual de funcionamiento del sistema hídrico subterráneo, los antecedentes hidroquímicos e hidrodinámicos, las prácticas agrícolas y la gestión de efluentes de la agroindustria.

## RESULTADOS

### Modelo conceptual de funcionamiento del sistema hídrico subterráneo

El acuífero del Valle central Antinaco - Los Colorados se desarrolla en una fosa tectónica generada por el ascenso de grandes bloques del basamento cristalino (rocas ígneas y metamórficas) cuya depresión fue rellenada por sedimentos aluviales de edad terciaria y cuaternaria. Su relleno es considerado como una cuenca subterránea cerrada que ha almacenado importantes volúmenes de agua a lo largo de milenios. El cierre de la cuenca al flujo se localiza al Sur debido a una falla de contención que arrastró materiales finos generando una barrera impermeable a la altura de la Formación Los Colorados (Peña, 1969). Sin embargo, algunos autores ponen en duda el total efecto "impermeabilizante" de dicha barrera (Zambrano, 1983).

Los principales acuíferos se desarrollan en los sedimentos aluviales cuaternarios que rellenan la fosa tectónica. También existen facies menos permeables, de edad plio-pleistocenas (Fm. Santa Florentina) que albergan agua de buena calidad. El conjunto de acuíferos alcanza profundidades de desarrollo del orden de 300 a 500 m. Los límites entre los materiales del Cuaternario y del Terciario no se encuentran claramente definidos. No se descarta la presencia en el subsuelo de sedimentitas terciarias más antiguas y del Paleozoico Superior, las cuales podrían ser portadoras de aguas con mayor mineralización. Es importante destacar que el reservorio del Cuaternario no está constituido por capas de agua independientes; se trata de un acuífero complejo, que se encuentra en terrenos conglomerádicos, arenosos gruesos a finos, con intercalaciones limosas, donde los niveles inferiores están conectados con los superiores, formando un acuífero del tipo multicapa,

debido a que son terrenos altamente permeables (Sosic, 1971). Hacia el borde occidental de la subárea de Vichigasta y Catinzaco, los depósitos de piedemonte están formados por materiales gruesos en sus ápices, y el acuífero que allí se explota presenta coeficientes de almacenamiento (S) que permiten caracterizarlo como "libre". Las facies hacia el Este disminuyen su permeabilidad e incrementan las proporciones de materiales finos (limos y arcillas), con valores de S de  $1 \times 10^{-3}$ , lo que indica la explotación de acuíferos semilibres y/o semiconfinados (Rocca, 1975). De acuerdo a informes de logueo en pozos realizados por CONHIDRO S.R.L., no se han detectado niveles de arcillas bien definidas y mucho menos con continuidad areal importante, por lo que no es esperable en la subárea la presencia de acuíferos confinados hasta profundidades de 250 m.

La recarga del acuífero proviene, por un lado, de las escasas precipitaciones en el valle y, por otro, de los aportes de ríos y quebradas que infiltran sus caudales al abandonar el sistema serrano en los conos aluviales. Otra importante fuente de recarga proviene a través de una compleja red de diaclasas existentes en las sierras citadas (Sosic, 1971). Como recarga artificial, debe considerarse la posibilidad de que los retornos de riego alcancen las capas superiores del sistema acuífero con la potencialidad de contaminarlo.

La descarga natural del agua subterránea se produce por evapotranspiración de especies freatófitas (Morello, 1958 citado por Sosic, 1971) mientras que la descarga artificial se realiza por medio de una importante red de pozos localizados a lo largo del valle, principalmente en Vista Larga (Capayán), San Nicolás, Tilimuqui, Malligasta, Anguinán, Nonogasta, Vichigasta y Catinzaco.

### **Las prácticas agrícolas y la gestión de efluentes de la agroindustria**

Para describir las prácticas agrícolas en las subáreas se obtuvo información de empresas olivícolas, vitícolas e informantes calificados. Se destaca que en las explotaciones agrícolas la fertilización es una práctica común, intensiva y necesaria debido a la falta de nutrientes en los suelos. Inicialmente se utilizó urea granulada y otras formulaciones sólidas de Nitrógeno, Fósforo y Potasio. Posteriormente comenzaron a utilizarse fertilizantes líquidos inyectados al sistema de riego por goteo, como el nitrato de amonio, nitrato de potasio, cloruro de potasio y fosfato mono-amónicos. Respecto a los agroquímicos, se aplica en hojas endozulfan, oxiclورو de cobre, sulfato de cobre y en suelo glifosato, mancoceb, propineb, captan, ciprodimil y paraquat, todos ellos utilizados en muy bajas dosis debido a la buena sanidad de los cultivos de la zona [Calahorra, M.A. y De la Vega, D.; Com. Pers., 2016]. Respecto al riego, en la actualidad la mayoría de las fincas cuentan con sistemas por goteo y sólo algunas riegan por surco (menos de 50 ha). Sin embargo, ello no implica que el riego aplicado responda a las necesidades del cultivo, que para el Olivo ronda los  $1.200 \text{ mm.año}^{-1}$  y para la vid en  $900 \text{ mm.año}^{-1}$ . Se ha tomado conocimiento que algunas fincas riegan por encima de  $1.600 \text{ mm.año}^{-1}$  y otras lo hacían con una lámina mayor a  $2.000 \text{ mm.año}^{-1}$ , aduciendo que el rendimiento del cultivo se debía al agua aplicada en exceso [Agüero Alcaraz, L.M.; Com. Pers., 2015]. Otra práctica común es el "lavado de sales", actividad desarrollada en invierno, que consiste en regar en exceso para que se disuelvan las sales de los horizontes superficiales del suelo y lixivien por debajo de la zona radicular. Los fertilizantes, agroquímicos y sus metabolitos y las sales de lavado podrían llegar más rápido a las capas superiores del acuífero debido a los excesos de riego.

En cuanto al tratamiento y disposición de efluentes de la agroindustria en la zona, se observa que estos se efectúan en la mayoría de los casos por fuera de los criterios básicos de protección ambiental. Algunas empresas vuelcan sus efluentes en suelo, alcantarillas, o cauces de ríos secos, mientras otras poseen piletas con geomembranas a modo de balsas de evaporación, pero que, en caso de fuertes precipitaciones o excesos en los afluentes recibidos, rebalsan poniéndose en contacto con el suelo. También existe la aplicación de lodos removidos de las balsas de evaporación como mejoradores de caminos y fertilizantes. Estas prácticas en su conjunto han sido reportadas como fuentes de contaminación de agua subterránea (Ramos Cormenzana, 1995). Cabe destacar que los

efluentes de alpechines y procesamiento de uva poseen una importante carga contaminante (DBO y DQO), alta concentración de sales y compuestos fenólicos recalcitrantes que limitan su tratamiento y degradación (Ramos Cormenzana, Op. Cit). En adición, su disposición inadecuada genera una carga hidráulica que favorece la percolación y de esta manera la carga contaminante llegará en menos tiempo a las capas superiores del acuífero que los excesos de riego. De acuerdo a las conclusiones de Caputo et al. (2013), es probable la detección en agua subterránea de altas concentraciones de nitrato y compuestos fenólicos por disposición inadecuada de este tipo de efluentes.

### Hidrodinámica e hidroquímica en la subáreas de Vichigasta y Catinzaco al 2015.

En la Figura 1 B se presenta un mapa de isopiezas a diciembre de 2015, donde se aprecia el sentido de flujo subterráneo hacia el Sudeste, sin observarse un aporte desde el Oeste. Además existe una convergencia de las líneas de flujo hacia el sector cultivado que indica la descarga del acuífero por bombeo. Los niveles estáticos oscilan entre -55 y -60 m.b.n.t. lo que implica una profundización de 30 m respecto a la línea de base de 1974. En la Tabla 2 se presentan los resultados de las determinaciones de iones mayoritarios de muestras de agua subterránea y su comparación con los resultados del año 2006. Lamentablemente, en el estudio del año 2006 no se determinaron aniones mayoritarios, a excepción de nitrato, situación que limita el análisis de la evolución hidroquímica.

Los resultados indican que en cuatro muestras (Pozos 1, 4, 5 y 9) no hay aumento de la salinidad, incluso los valores han disminuido levemente, aunque en una de ellas la CE es elevada con  $4.140 \text{ uS.cm}^{-1}$ . Por otro lado, seis pozos poseen un importante incremento de salinidad (Pozos 2, 6, 7, 8, 11 y 12) que varía entre 23 % y 182 %. Otros dos pozos efectuados con posterioridad al año 2006 (Pozos 3 y 10) poseen tenores de salinidad de bajos a altos, con  $450$  y  $1.000 \text{ uS.cm}^{-1}$ . Las muestras con un aumento en la CE presentan un incremento marcado de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{NO}_3^-$  mientras que el  $\text{Na}^+$  en la mayoría disminuye (Pozos 2, 6, 7, 8) y sólo en algunas aumenta (Pozos 11 y 12).

Tabla 2. Resultados de determinaciones y analitos a muestras de agua subterránea en año 2006 y 2015. Elaboración propia.

Pozo	pH		CE		$\text{Ca}^{2+}$		$\text{Mg}^{2+}$	
	2006	2015	2006	2015	2006	2015	2006	2015
1	7,2	7,4	1.580	1.490	181	173	18,0	25,2
2	7,0	7,1	2.980	3.580	359	562	31	58,4
3	SD	7,8	SD	450	SD	38	SD	2,4
4	7,2	7,5	1.080	960	82	92	7,3	15,8
5	7,1	7,1	5.070	4.140	469	534	43	56,5
6	7,3	7,5	686	1.200	47	142	3,6	15,8
7	7,1	7,4	900	2.150	64	280	5,5	31,6
8	7,2	7,3	877	2.360	60	310	4,6	33,4
9	7,3	7,4	1.120	1.000	96	106	4,7	7,3
10	SD	7,6	SD	1.000	SD	106	SD	12,2
11	7,4	7,6	517	1.460	34	120	2	7,3
12	7,5	7,2	960	1.460	70	126	4,1	14,8
Pozo	$\text{Na}^+$		$\text{K}^+$	$\text{HCO}_3^{-}$	$\text{SO}_4^{-}$	$\text{Cl}^{-}$	$\text{NO}_3^{-}$	
	2006	2015	2015	2015	2015	2015	2006	2015
1	125	130	5	124	329	224	73,0	53,4
2	220	180	11	108	458	543	142	446
3	SD	48	3	108	127	31,2	SD	4,2
4	158	100	4	167	258	93,6	60	53,4
5	680	425	13	179	465	456	1.080	1.100
6	90	70	5	120	233	190	9,3	73,1
7	130	125	6	132	319	392	20	183
8	115	125	6	132	298	374	21	350
9	140	74	4	143	240	111	47	77,8
10	SD	68	4	132	249	131	SD	23,6
11	80	145	4	120	319	218	6,2	26,1
12	128	180	4	124	334	221	12,0	35,5

Información del año 2005 corresponde a Poblete y Guimarães, 2006.  
 † No hay registros de los analitos K<sup>+</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>=</sup> y Cl<sup>-</sup> en muestras del año 2005.  
 SD; muestra inexistente o ausencia de dato. CE (uS.cm<sup>-1</sup>); Iones(mg.L<sup>-1</sup>); pH (unidad de pH).

En la Tabla 3, se presentan las determinaciones en muestras de agua subterráneas extraídas en el pozo 5 y su reemplazante en los años 1974, 1979, 2006 y 2015. Se observa un marcado cambio en la evolución salina del agua extraída, con un incremento de la CE y de los iones Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>=</sup>, Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, donde este último aumentó en tres órdenes de magnitud. El pH disminuyó y la concentración de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> se mantuvo estable. El pozo 5 erogaba agua bicarbonatada sódica (1974 y 1979), mientras que en el 2006 extraía agua sulfatada cálcica con alta concentración de nitrato (Figura 2).

Tabla 3. Evolución hidroquímica del agua en el pozo 5. Elaboración propia.

Pozo 5	CE	pH	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
1974	676	7,8	52	5,1	82	4,1	188	116	38	2,1
1979	789	7,2	71	6,7	90	SD	194	130	64	15
2006	5.070	7,1	469	43,0	680	SD	SD	SD	SD	1.080
2015 <sup>†</sup>	4.140	7,1	534	56,5	425	13	179	465	456	1.100

Datos 1974, 1979 y 2006 corresponde a trabajos de INA CRAS, Rocca et al. (1975); García Perón (1979); Poblete y Guimarães (2006).  
 † El pozo donde se extrajo la muestra en el año 2015 reemplaza el pozo anterior, de diseño similar, pero localizado a 50 metros.  
 SD; muestra inexistente o ausencia de dato. CE (uS.cm<sup>-1</sup>); Iones (mg.L<sup>-1</sup>); pH (unidad de pH).

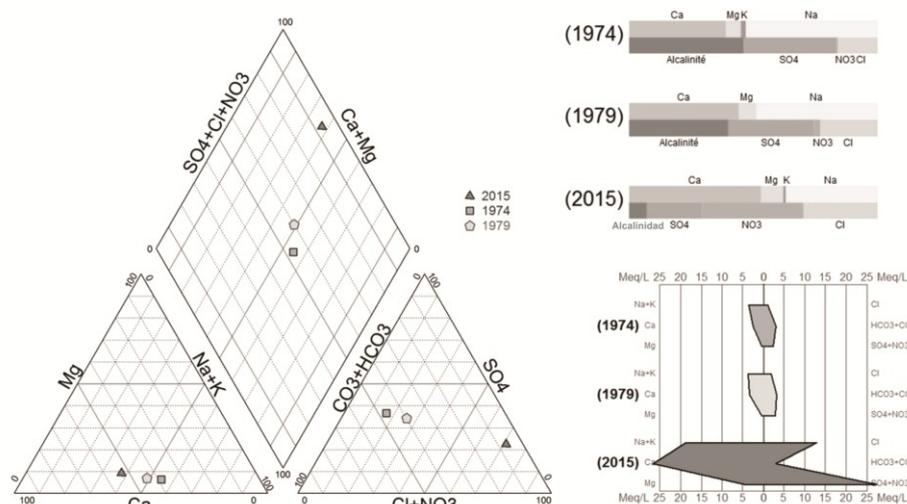


Figura 2. Gráficas de evolución hidroquímica del agua en el pozo 5 (1974-2015). Elaboración propia.

Respecto a los agroquímicos, ninguna muestra presentó concentraciones por encima del límite de detección para los 100 compuestos analizados. Sin embargo, las gráficas de cromatografía gaseosa advierten la presencia de múltiples compuestos fenólicos que debido a la falta de patrones no fue posible cuantificar, aunque sí puede advertirse su presencia.

## DISCUSIÓN

Los resultados apuntan hacia la existencia de contaminación de aguas subterráneas por infiltración de retornos de riego con altos contenidos salinos, en especial de nitrato –asociado a la fertilización– similar a lo descrito por Cabrera y Custodio (1998) en la Cuenca del Telde. Además, la presencia de compuestos fenólicos en agua subterránea indica la llegada de efluentes agroindustriales que también aportarían nitrato y otros iones. No se han detectado agroquímicos, lo que podría deberse por un lado a las bajas dosis utilizadas y por otro a su retención y degradación en suelo (Aparicio et al., 2015).

Respecto a la presencia de pozos salinizados y no salinizados localizados a escasa distancia, se explica en la Figura 3 y 4 dos situaciones diferenciadas.

Los pozos 2 y 3 se encuentran distanciados por 500 m y presentan marcadas diferencias en los valores de CE con 3.580 y 450 uS.cm<sup>-1</sup>; respectivamente. El pozo 2,

tiene un paquete de filtros desde los 83 m a los 140 m sin cementación, lo que conecta el acuífero freático con niveles semilibres, extrayendo una mezcla de agua de las diferentes capas y potencialmente afectando las capas subyacentes por ingreso de agua salinizada por el espacio anular. En cambio, el pozo 3 se encuentra cementado desde los 34 a los 100 m, evitando el ingreso de agua salinizada desde el freático y extrayendo agua no salinizada de capas semilibres inferiores.

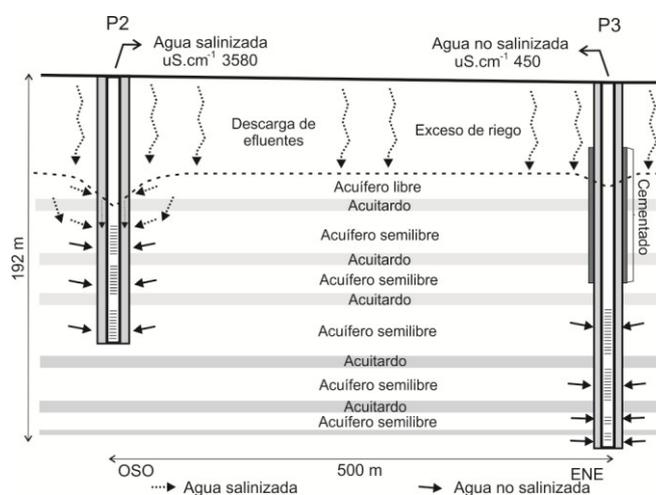


Figura 3. Esquematación que explica las diferencias de salinidad entre P2 y P3. Elaboración propia.

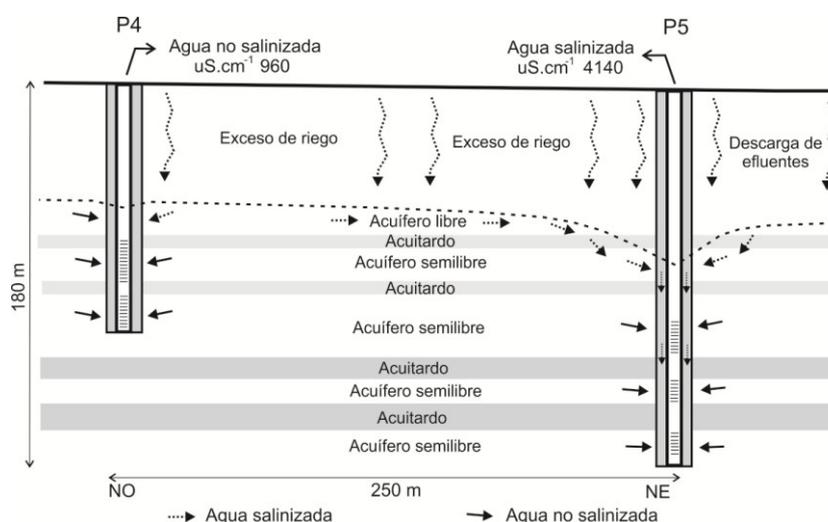


Figura 4. Esquematación que explica las diferencias de salinidad entre P4 y P5. Elaboración propia.

El pozo 4 se localiza 250 m aguas arriba del pozo 5, en el primero se extrajo agua con una CE de  $960 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  mientras que en el segundo con  $4.140 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ . La explicación a esta diferencia se debería a dos razones fundamentales, por un lado el pozo 5 recibiría localmente una importante carga salina de excesos de riego y de descarga de efluentes que no afectan al pozo 4 debido a su posición aguas arriba, y por otro, al fuerte abatimiento del pozo 5 y el consecuente ingreso de agua salinizada desde el freático a las capas semilibres por permeabilidad vertical y por el espacio anular del pozo no cementado.

## CONCLUSIONES

El proceso de salinización en las Colonias Agrícolas de Vichigasta y Catinzaco se debe a la llegada de excesos de riego salinizados y efluentes de la agroindustria a las capas superiores del sistema acuífero. A ello debe sumarse la fuerte extracción de agua para riego y la exigua recarga del área debido a su localización en la cuenca, lo que conlleva a la

profundización de los niveles estáticos. La planificación y perforación de pozos sin aislamiento en las capas superiores del sistema acuífero pone en peligro de salinización a las capas semilibres y semiconfinadas más profundas, actualmente no alteradas. Es necesario realizar un seguimiento sistemático de la piezometría y de las variaciones hidroquímicas a fin de adoptar medidas de protección hacia el recurso y la sustentabilidad del sistema agroindustrial regional. También se considera necesario realizar estudios hidroquímicos de detalle con determinaciones isotópicas, que permitan confirmar el sistema hidrodinámico, establecer posibles procesos de mezcla de aguas, etc.

Los cambios en la piezometría regional, los grandes descensos de los niveles piezométricos, el incremento de la salinidad de las aguas, son procesos inducidos por una explotación intensiva del recurso hídrico subterráneo que probablemente sea consecuencia de la sobreexplotación del sistema acuífero.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo desean destacar la labor del personal técnico de la EEA INTA Chilecito, Instituto de Tecnología de los Alimentos (INTA-Castelar); Laboratorio de Alta Complejidad (LAC-UNDeC) y CONHIDRO S.R.L. que han colaborado en el trabajo. También agradecer al Proyecto Regional con Enfoque Territorial de la EEA INTA Chilecito, Programa Nacional Agua y Programa Nacional de Recursos Naturales de INTA que han priorizado y financiado esta investigación.

## REFERENCIAS

- Álvarez, A. y García Perón, E.** 1977. Evaluación e interpretación hidroquímica y calidad del agua para uso agrícola. Valle Antinaco-Los Colorados. La Rioja. Publicación N° 171. INA CRAS. Subsecretaría de Recursos Hídricos.
- Aparicio, V.; De Gerónimo, E; Hernandez Guijarro, K.; Pérez, B.; Portocarrero, R. Vidal, C.** 2015. Los plaguicidas agregados al suelo y su destino en el ambiente. INTA Ediciones. p 74.
- Cabrera, M.C. y Custodio, E.** 1998. Jornadas sobre la contaminación de las aguas subterráneas: un problema pendiente. ITGM Valencia, AIH - Grupo España. pp 81-88.
- Caputo, M.C., De Girolamo, A.M. y Volpe, A.,** 2013. Soil amendment with olive mills wasted. Impact to groundwater. Journal Environmental Management. Vol. 131, pp. 216-221.
- García Perón, E.** 1979. Consideraciones hidroquímicas y evolución salina de la cuenca Antinaco Los Colorados, Provincia de La Rioja. Publicación N° P-223. INA CRAS. p 18.
- Hidalgo Togoies, J.,** 2011. Tratado de Enología. Tomo I. Segunda edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid-Mexico. p 1289.
- Peña, E.P.** 1969. Primera Reunión Nacional para la experiencia piloto de desarrollo cultural en la Rioja. Anales de la Academia Nacional de Agronomía y Veterinarias. Tomo XXIII. 206-218.
- Poblete, M.A. y Guimaraes R.E.** 2006. Evaluación hidrogeológica de los acuíferos explotados en la cuenca Antinaco-Los Colorados. INA-CRAS. p 28.
- Ramos-Cormenzana, A.; Monteoliva-Sanchez y M; Lopez, M.J.,** 1995. Bioremediation of Alpechin. International Biodeterioration & Biodegradation. pp 249-268.
- Rocca, J.A.; Ortiz, A.; Zambrano, J; Taballione, C.; Toores, E.; Robles, J.O.; Victora, J.A.; Pelegrino, J; Salvioli, G.; Bosch, E.; Martinis, N.; Coria, E.; Lonh, P.; García Perón; Ferres, C.; Álvarez, A.; Frontera, H.; Aberastain, S.; Toro, M.A. y Nally, J.** 1975. Investigación del agua subterránea en el Valle Antinaco-Los Colorados, Provincia de La Rioja. Publicación N° P-067. INA CRAS. Secretaría de Estado de Recursos Naturales y Ambiente Humano, Subsecretaría de Recursos Hídricos. p 350.
- Sosic, M.** 1971. "Descripción hidrogeológica del Valle de Antinaco-Los Colorados, prov. de La Rioja". Buenos Aires. Dirección Nacional de Geología y Minería. Boletín 123. P 51.
- Vazquez-Amabile G.; Ricca A.P.; Rojas, D.; Cristos, D.S.; Ortiz de Zarate; M.L.; Pellisier, G.; Bosch, N.; Lascombes, J.; Pons, D.; Feler, M.A.; Rodriguez-Vagaría, A. y Gaspari, F.J.** 2014. Análisis de agroquímicos y nitratos en cursos y aguas subterránea de cuencas rurales del oeste y sudeste de Buenos Aires. Hidrollanuras 2014. Santa Fe, Argentina. Versión CD.
- Zambrano, J.J.** 1983. "Explicación de un mapa geológico estructural del Valle Antinaco-Los Colorados". San Juan. Centro Regional de Agua Subterránea. p 27.