

## **EVOLUCIÓN HIDRODINÁMICA E HIDROQUÍMICA DEL SISTEMA ACUÍFERO EXPLOTADO EN LAS COLONIAS AGRÍCOLAS DE TILIMUQUI, MALLIGASTA Y ANGUINAN, DEPARTAMENTO DE CHILECTO, LA RIOJA**

<sup>1</sup>Miguel, Roberto Esteban; <sup>1</sup>Gonzalez Ribot, Joaquín Víctor

<sup>1</sup> INTA EEA Chilecito. Ruta de la Producción Km 7,5. C.P. 5361. Tilimuqui, Chilecito, La Rioja, Argentina. Tel. +54 3825 420105 [miguel.roberto@inta.gob.ar](mailto:miguel.roberto@inta.gob.ar)

### **Resumen**

Las colonias agrícolas de Tilimuquí, Malligasta y Anguinán se sitúan en la Cuenca Antinaco - Los Colorados, Provincia de La Rioja. Desde 1970 se ha desarrollado una prolífica actividad agrícola con una explotación intensiva del recurso hídrico subterráneo. Si bien en los primeros 35 años de explotación se ha efectuado el seguimiento del sistema acuífero, desde Diciembre de 2005 no se ha estudiado su evolución. Debido a que numerosos productores advirtieron que existe una merma en los rendimientos de los pozos y profundización de niveles, es objetivo de este trabajo actualizar la evolución hidrodinámica e hidroquímica del acuífero explotado en las Colonias de Tilimuqui, Malligasta y Anguinán. De un censo inicial, se seleccionaron 21 perforaciones y en Diciembre de 2015 se midieron los niveles estáticos. Además se extrajeron muestras de agua subterránea en las que se determinó conductividad eléctrica, pH, temperatura e iones mayoritarios. Se realizaron mapas de isopiezas, isoprofundidad e isoconductividad comparando los años 2005 y 2015. Además se analizó por tablas y gráficos de Piper la composición química de las aguas. Los resultados indican un cambio en las direcciones regionales del flujo, de Noroeste-Sudeste en 2005 a Norte-Sur en 2015. Asociado a ello existe una profundización de niveles, en especial hacia el Noroeste del área, en coincidencia con el cono aluvial del río Los Sarmientos. Respecto a la hidroquímica, no se detectó una evolución salina de las aguas. Sin embargo, el incremento de la concentración de nitrato en varias perforaciones hace presumir que los retornos de riego o vuelcos de agroindustrias no tratados están afectando la calidad del recurso en el acuífero freático, situación que podría agravarse en el corto y mediano plazo.

**Palabras claves:** Antinaco Los Colorados, acuífero multicapa, explotación intensiva, hidrodinámica, hidroquímica.

### **Abstract**

Tilimuqui, Malligasta and Anguinán are agriculture areas situated in Antinaco - Los Colorados Valley, La Rioja Province, Argentina. Since 1970, it has been developed a prolific agriculture and an intensive groundwater use. In the beginning of the explotations have been developed several studies of aquifer system, however, since 2005 has not been studied the groundwater evolution. Farmers are concerned due to a reduction of the production of pumping wells and the deepening of water table level. The aim was analyze the hydrodynamic and hydrochemistry evolution in the aquifer system used for agriculture in Tilimuqui, Malligasta and Anguinán. In 21 wells were measured water table levels and were collected water samples in which were determined pH, electrical conductivity and ions. Isohypes, isodeep and isoconductivity maps were made and compared between 2005 and 2015 years. In addition, the water chemical was analyzed by table and piper graphic. Results showed a regional flow direction change and a deepening of water table between 2005 and 2015. Saline evolution was not detected, however, the nitrate concentration in several wells show an increase that may be caused by fertilization, overwatering irrigation, or non-treated wastewater.

**Keywords:** Antinaco Los Colorados, multilayer aquifer, intensive exploitation, hydrodynamic, hydrochemistry.

## INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Las Colonias Agrícolas de Tilimuqui, Malligasta y Anguinán, localizadas en el Departamento de Chilecito –Provincia de La Rioja– utilizan agua superficial y subterránea para abastecer los requerimientos de los cultivos. A principios del siglo XX se construyó una serie de azudes, canales para la captación y distribución del agua de los ríos Amarillo y Aguas Negras a fin de satisfacer las demandas de los cultivos de vid, olivo y hortalizas. En la década de 1970, bajo un plan de “colonización” impulsado por el gobierno local, se desarrollaron baterías de perforaciones (alrededor de 120) a fin de ampliar la frontera agrícola y propiciar el crecimiento económico de la región. Entre los años 1973-1975 se efectuó el primer estudio integral del Valle Antinaco Los Colorados, los trabajos se repitieron de manera alternada hasta el año 2005, para conocer la evolución hidrodinámica e hidroquímica del Valle y de la subárea en Tilimuqui, Malligasta y Anguinán (en adelante T, M y A). La subárea ha tenido, desde el año 1974 a la actualidad, un aumento de la superficie cultivada y aguas arriba se han desarrollado importantes explotaciones que extraen exclusivamente agua subterránea. A ello se suma la preocupación de productores que advierten una merma en el rendimiento de las perforaciones y una profundización de niveles. Por todo ello, el objetivo de este trabajo fue actualizar la información hidrodinámica e hidroquímica de las Colonias Agrícolas de Tilimuqui, Malligasta y Anguinán en el año 2015 y su comparación con el estudio efectuado por el INA CRAS en 2005.

## METODOLOGIA

En la Figura 1 se presenta la Cuenca Antinaco Los Colorados y la zona de estudio, de aproximadamente 240 Km<sup>2</sup>, que incluye a las Colonias Agrícolas de T, M y A.

Se recopiló información antecedente del INA CRAS del año 2005, utilizándose los datos hidroquímicos (pH, temperatura, conductividad eléctrica, calcio, magnesio, sodio, potasio y nitrato) e hidrodinámicos (nivel estático, piezométrico y mapa de isopiezas).

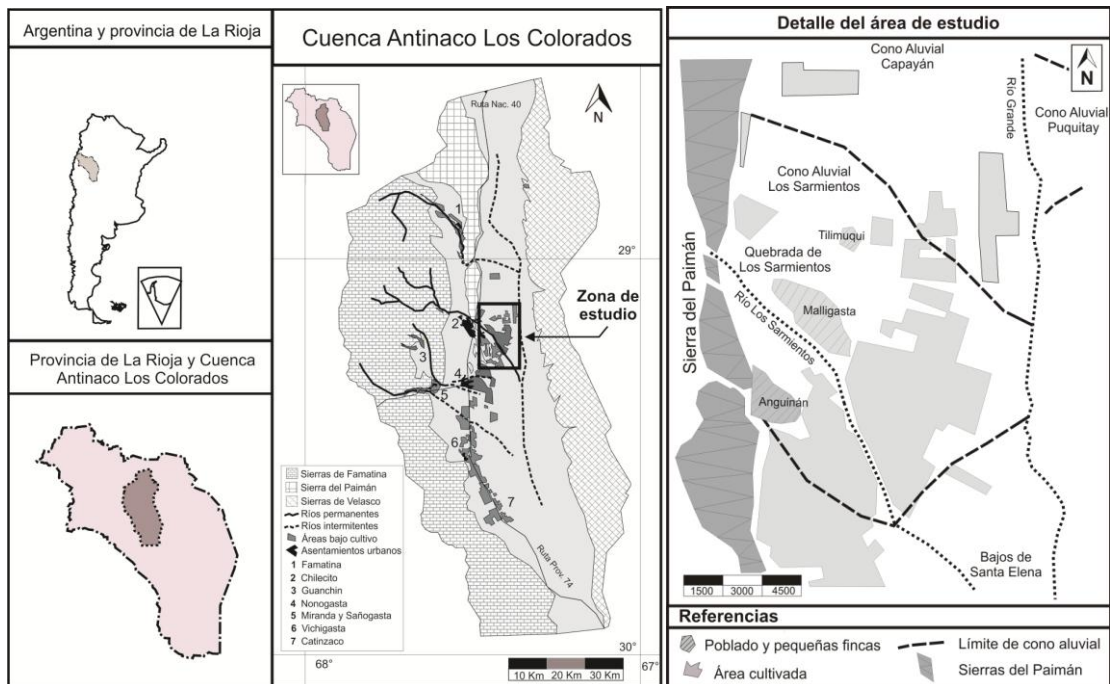


Figura 1. Área de estudio. Elaboración propia.

Como tareas de campo, se seleccionaron 19 perforaciones profundas equipadas con bomba y caño piezométrico; una perforación profunda sin bomba y un pozo de balde equipado con bomba. Todas las perforaciones se seleccionaron considerando un

distanciamiento lo más equidistante posible. Se midió el nivel estático en cada uno de los pozos, después de detener la bomba al menos ocho horas. Durante las pruebas de bombeo se extrajeron las muestras de aguas en las que se determinó en campo pH, temperatura, conductividad eléctrica y  $\text{HCO}_3^-$ . Las muestras fueron colectadas en recipientes plásticos previamente lavados con agua destilada y almacenados a 4° C para su envío a laboratorio, donde se determinó  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  y  $\text{NO}_3^-$ , en la Tabla 1 se presentan las metodologías utilizadas.

Tabla 1. Analitos, métodos y metodologías aplicadas.

Analito	Metodología de análisis	Método estandarizado
$\text{Ca}^{2+}$	Volumétrico	APHA 2340 C
$\text{Mg}^{2+}$		
$\text{Na}^+$	Fotometría	SAMPLA-SAGPYA,2005
$\text{K}^+$		
$\text{HCO}_3^-$	Volumétrico	APHA 2320 B
$\text{Cl}^-$	Volumétrico	APHA 4500 B
$\text{SO}_4^{2-}$	UV-Visible	APHA 4500 B
$\text{NO}_3^-$		

Los datos e información hidrodinámica de los años 2005 y 2015 fueron comparadas y se construyeron mapas de isoprofundidad e isopiezas. La información hidroquímica se utilizó para construir mapas de isoconductividad y tablas de iones. Como limitante, se advirtió la ausencia de análisis de aniones en el estudio de 2005 lo que restringió la comparación.

## RESULTADOS, ANALISIS Y DISCUSIÓN

### Modelo conceptual de funcionamiento del sistema acuífero

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 esta rellena con sedimentos aluviales de edad terciaria y cuaternaria. La cuenca subterránea ha almacenado importantes volúmenes de agua a lo largo de milenios, debido al cierre del flujo al Sur por la presencia de una falla de contención a la altura de la Formación Los Colorados (Peña, 1969).

Los principales acuíferos se desarrollan en sedimentos cuaternarios con profundidades variables entre 300 y 500 m. Por debajo de los sedimentos del cuaternario se hallan sedimentos del terciario los cuales, de acuerdo a estudios de geoelectrónica, portan aguas con mayor salinidad (Rocca et al., 1975). Es importante destacar que el reservorio del cuaternario no está constituido por capas de agua independientes, se trata de un complejo acuífero que se encuentra en terrenos conglomerádicos, arenosos gruesos a finos, con intercalaciones limosas, donde los niveles inferiores están conectados con los superiores debido a que son terrenos altamente permeables conformando así un acuífero del tipo multicapa (Sosis, 1971). En el área de estudio, pueden distinguirse tres ambientes geomorfológicos diferenciales, hacia el Noroeste se encuentra un importante abanico aluvial que se inicia en la Quebrada de Los Sarmientos, donde el río homónimo ingresa al Valle Central Antinaco - Los Colorados atravesando las Sierras del Paimán. El área apical del abanico presenta pendientes del 5 %, los materiales que conforman el acuífero son materiales gruesos (grandes bloques y grava) donde el acuífero explotado posee permeabilidades (K) del orden de  $86 \text{ m.día}^{-1}$  y coeficientes de almacenamiento (S) correspondientes a acuíferos libres (Miguel, inédito). Hacia el Este y Sur, en el cuerpo del abanico aluvial, con pendientes oscilan entre 1 y 2 %, los materiales disminuyen su permeabilidad y se incrementan las proporciones e intercalaciones de materiales finos. Por fuera del abanico aluvial se desarrolla una zona con pendientes inferiores al 1 % donde la

fracción fina de limos y arcillas se incrementa y los valores de S de  $1 \times 10^{-3}$  indican la explotación de acuíferos semilibres y/o semiconfinados (Rocca, 1975).

La recarga del acuífero deriva, 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 es dada por una compleja red de diaclasas existentes en las sierras citadas (Sosic, 1971). En la zona de estudio el flujo de recarga llega desde el Norte, recibiendo aportes subterráneos de la subcuenca de Famatina a través de la Quebrada del Capayán y la percolación del Río Amarillo en los materiales gruesos que conforman el abanico aluvial. Adicionalmente, existen otros aportes desde quebradas y abanicos aluviales desarrollados sobre el faldeo oriental de las Sierras de Velasco y occidental de las Sierras de Famatina, como las quebradas del Portezuelo, Molles y Puquitay. Hacia el Oeste del área de estudio, ingresan los excesos de agua del Río Los Sarmientos y subterráneamente aportes desde la quebrada homónima, que “a priori” descarga la subcuenca de Famatina-Chilecito. Como recarga artificial, debe considerarse la posibilidad de que los retornos de riego alcancen las capas superiores del sistema acuífero.

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.

### **Uso del suelo y explotación del recurso hídrico subterráneo**

El uso del suelo y la explotación del recurso hídrico subterráneo en el área de estudio son principalmente agrícolas, aunque existen asentamientos urbanos que se abastecen de perforaciones. Los principales cultivos perennes que se desarrollan son vid, olivo, otros frutales de carozo y pepita. Además se efectúan cultivos hortícolas anuales como pimientos, tomate, ajo, cebolla, zapallo, melón, sandía, entre otros. En el año 2004 la superficie cultivada era de 4.087 ha, incrementándose a 5.186 ha en 2014 (Miguel, 2014) mientras que los pozos en funcionamiento pasaron de ser 95 en 2004 a 115 en 2014, sin embargo un importante número de pozos no se encuentran declarados, por lo que la cantidad en funcionamiento sería sustancialmente mayor (Gonzalez Ribot, 2015).

Hacia el Norte del área de estudio, en la zona de San Nicolás y Vista Larga (cono aluvial del Capayán), se han desarrollado nuevos emprendimientos agrícolas (1.760 ha) que utilizan integralmente agua subterránea. Estos emprendimientos, dada su localización aguas arriba de la zona de estudio, podrían alterar la recarga del sistema acuífero e impactar en la hidrodinámica e hidroquímica en las zonas tradicionalmente explotadas.

### **Hidrodinámica**

En la Figura 2 (A) y (B) se presentan los mapas de isopiezas de T, M y A para los años 2005 y 2015, respectivamente. En el año 2005 la dirección del flujo de agua subterránea en el Oeste del área de estudio, coincidente con el ápice cono aluvial del Río Los Sarmientos, era Oeste Noroeste – Este Sudeste, lo que presume un aporte de agua a través de las quebradas de Los Sarmientos y La Puntilla en las Sierras del Paimán. Hacia la zona distal del abanico aluvial, donde los materiales se vuelven más finos, el flujo cambia a dirección Noroeste – Sudeste y finalmente, en la zona Sur, en la zona de planicie por fuera del cono aluvial la dirección se torna Norte – Sur. Pueden advertirse localmente flujos de recarga, potencialmente debidas al aporte del río Los Sarmientos, y zonas de descarga en áreas de explotación agrícola. Es probable que algunas perforaciones censadas en 2005 se hayan detenido y medido sin un debido tiempo de recuperación de niveles estáticos, lo que altera el mapa de isopiezas.

Para el año 2015 el flujo de agua subterránea presentó substanciales cambios respecto al 2005, principalmente no se advierte el flujo de recarga del Oeste desde la Quebrada del río Los Sarmientos y La Puntilla, y regionalmente el flujo posee una dirección

Norte – Sur. La pérdida de este aporte podría deberse a la ejecución y puesta en marcha de una batería de nueve pozos profundos para el abastecimiento de agua potable de la ciudad de Chilecito, hacia el Oeste del área de estudio.

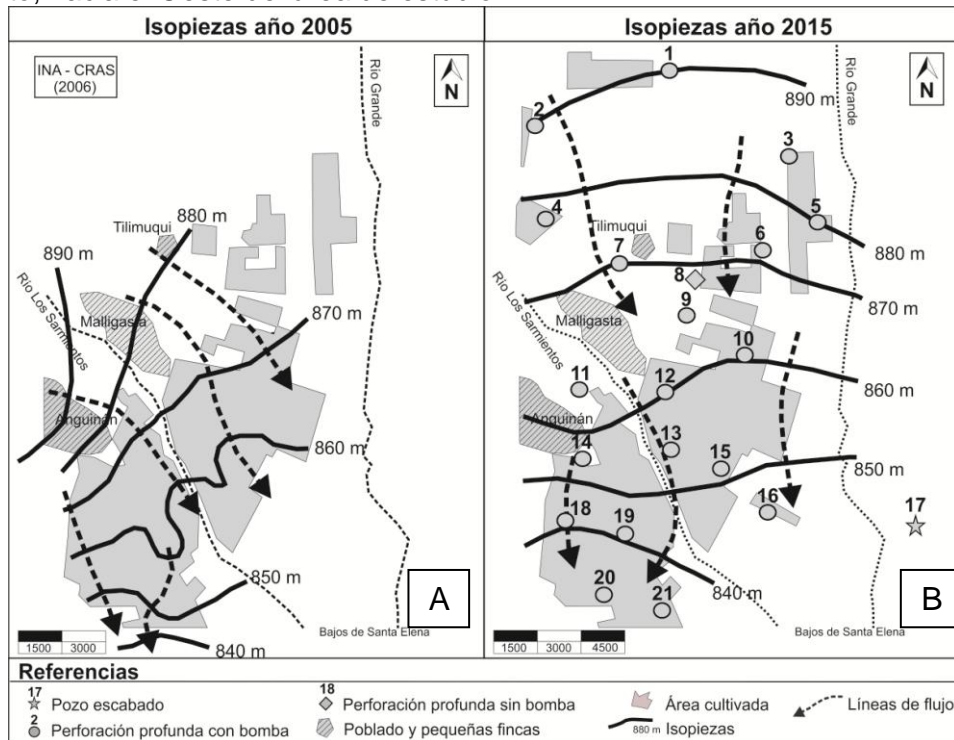


Figura 2. (A) Isopiezias año 2005 (B) Isopiezias 2015. Elaboración propia.

Además, se observa un cambio en los niveles piezométricos debido a la profundización de los niveles estáticos. En la Figura 3 (A) y (B) se observa como los niveles estáticos se han profundizado en el ápice y cuerpo del abanico aluvial con alrededor de -25 y -15 m; respectivamente.

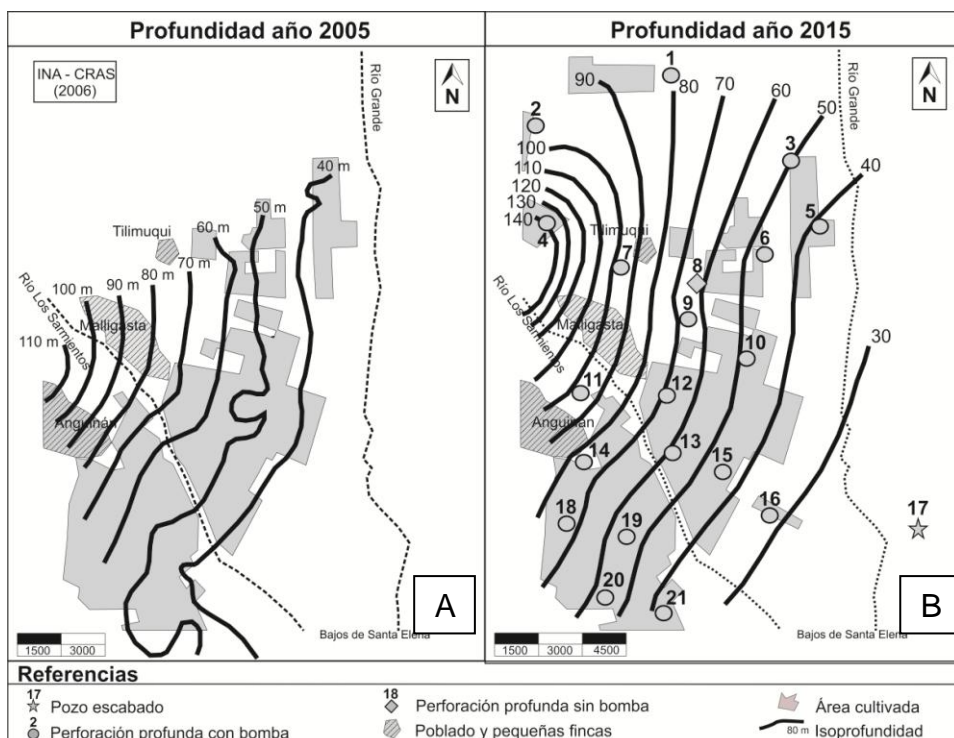


Figura 3. (A) Isoprofundidad al año 2005 (B). Isoprofundidad al año 2015. Elaboración propia.

Al Oeste del pueblo de Malligasta el nivel estático se encuentra a 20 m, en tanto que en Tilimuqui, límite distal del cono aluvial, el nivel estático se encuentra -15 m. En la zona de llanura, localizada al Sureste del área de estudio, donde los materiales se vuelven más finos, los niveles estáticos también se han profundizado con máximos de -7,5 m; pero no advirtiéndose modificaciones tan marcadas como en Malligasta y Tilimuqui.

## Hidroquímica

En la Figura 4 (A) y (B) se presentan dos mapas de isoconductividad para el año 2005 y 2015; respectivamente. El mapa de 2005 se elaboró en base al documento de Poblete y Guimarães (2006) el cual no contó con las nuevas perforaciones hacia el Norte de la zona de estudio ni los pozos de baldes localizados hacia el Sudeste, con el cual se elaboró el mapa 2015. De la comparación de ambos mapas, no se advierten cambios de importancia en la salinidad del agua, además en las áreas críticas, donde en 2005 se advirtieron perforaciones con conductividades mayores a 1.500 uS/cm, los valores se han mantenido estables. La conductividad eléctrica de las aguas aportadas desde el Norte advierten conductividades de  $1.000 \text{ uS.cm}^{-1}$  en tanto que desde el Noroeste, al piedemonte de las Sierras del Paimán, la salinidad aumenta a  $1.300 \text{ uS.cm}^{-1}$ . Hacia el Sureste, en la zona de los bajos de Santa Elena, el mapa de 2015 muestra un marcado incremento de la salinidad. Sin embargo, esta información deberá cotejarse cuando se efectúen nuevos pozos ya que el agua extraída fue un pozo excavado, que si bien se encontraba sellado al ingreso de materiales y protegido de la evaporación, capta solamente agua del acuífero freático y no de capas semilibres con menor grado de mineralización.

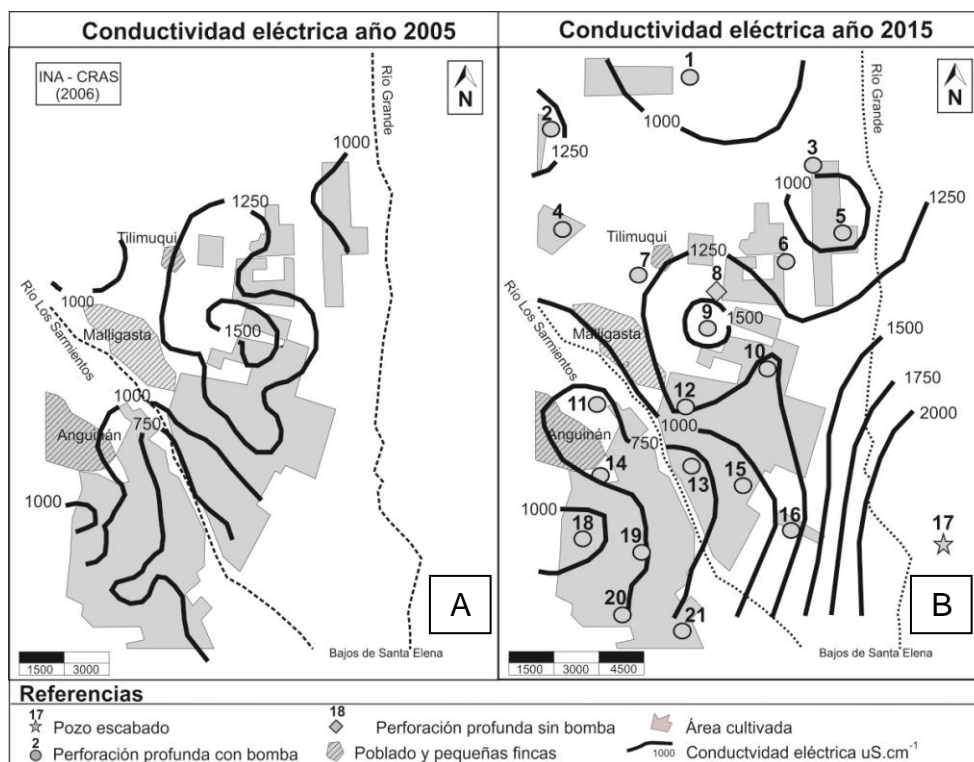


Figura 4. (A) Isoconductividad al año 2005 (B) Isoconductividad al año 2015. Elaboración propia.

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. Sólo se han considerado muestras extraídas del mismo pozo, su reemplazante o próximas al pozo muestreado en 2005 no incluyéndose los resultados de muestras localizadas al Norte y Sudeste del área en el año 2015. Lamentablemente, en el año 2005 no se determinaron aniones mayoritarios, a excepción de nitrato, situación que limita el análisis de la evolución hidroquímica.

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

Pozo	pH		CE		Ca		Mg		Na		NO <sub>3</sub>	
	2005	2015	2005	2015	2005	2015	2005	2015	2005	2015	2005	2015
3	7,4	7,7	1.080	1.050	69	74	6,6	35	145	130	17	18
5	7,6	8,0	911	860	44	43	1,4	2,2	140	140	7,9	7,1
7	6,9	7,8	926	1.150	65	90	18	4,4	105	110	4,8	12
9	7,5	7,6	1.410	1.580	126	162	18	33	140	140	13	35
10	7,2	7,6	1.320	1.220	110	104	16	16	145	135	21	16
11	7,3	8,0	712	690	70	45	16	12	48	90	13	10
12	7,3	7,3	1.420	1.370	149	169	34	54	85	85	40	55
13	7,3	7,8	884	630	95	65	16	17	65	52	6,3	14
18	7,3	7,7	1.050	1.160	123	133	26	32	60	52	14	12
19	7,2	7,9	701	740	55	65	12	15	74	64	9,7	12
20	7,1	7,9	815	730	57	47	6,9	15	103	66	6,5	7,1
21	7,3	7,6	753	780	63	72	11	35	76	80	9,5	12

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

En la mayoría de las muestras extraídas en 2015 se advierte que el pH ha aumentado mientras que la conductividad se ha mantenido relativamente estable. Se observó un incremento de la concentración de magnesio en casi todas las muestras. El calcio en algunas muestras presenta un marcado incremento (pozo 7 y 9) y en otros una marcada disminución (pozo 11 y 13). En la mayoría de las perforaciones las concentraciones de sodio se han mantenido a excepción de la muestras 11 y 20, donde aumentó y disminuyó; respectivamente. Las muestras extraídas en los pozos 9 y 12, localizadas en el área de mayor salinidad, poseen el mayor contenido de nitrato y presentan un aumento respecto a 2005. Esta situación podría deberse a la llegada de excesos de riego cargados de sales y fertilizantes, situación similar a la que ha sido reportada por Miguel et al. (Inédito) en las Colonias de Vichigasta y Catinzaco.

En la Figura 5 se presenta un diagrama de Piper para las 19 muestras tomadas en 2015 en el cual se observa aguas de características sulfatadas cálcicas (pozos 12, 15, 18) sulfatadas cálcico-sódicas (pozos 1, 2, 3, 7, 10, 16, 17 y 20), sulfatadas sódico-cálcicas (1, 3, 7 y 10) y sulfatadas sódicas (pozos 5 y 11). Estos resultados concuerdan con los estudios de base efectuados en 1974 (Rocca et al., 1975), por lo tanto no se advierte una evolución salina en el área de estudio.

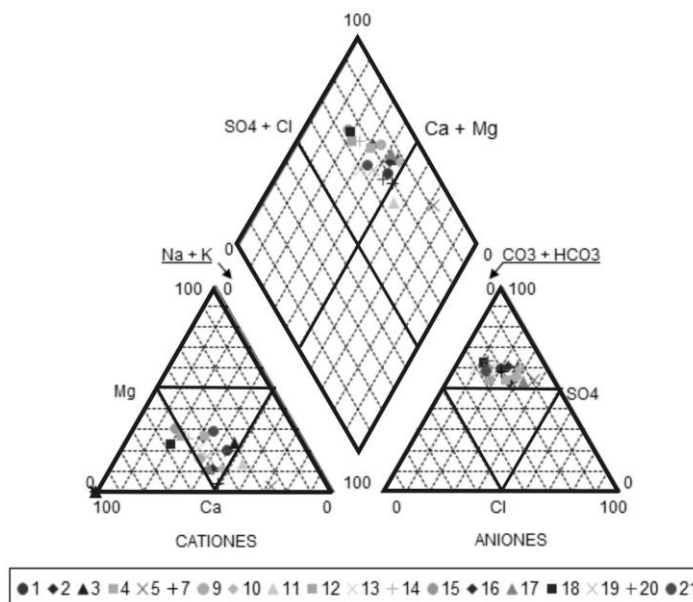


Figura 5. Diagrama de Piper e hidroquímica de las muestras. Elaboración propia.

## CONCLUSIONES

En las colonias agrícolas de Tilimuqui, Malligasta y Anguinán se advierte un cambio en las direcciones regionales del flujo, de Noroeste-Sudeste en 2005 a Norte-Sur en 2015, junto con una profundización de niveles hacia el Noroeste del área, en coincidencia con el cono aluvial del Río Los Sarmientos, de -25 m. Respecto a la hidroquímica, no se detectó una evolución salina de las aguas. Sin embargo, el incremento de la concentración de nitrato en varias perforaciones, hace presumir que los retornos de riego o vuelcos de agroindustrias, están afectando la calidad del recurso en el acuífero freático, situación que podría agravarse en el corto y mediano plazo.

Es necesario continuar con el seguimiento de la evolución hidrodinámica e hidroquímica en todo el valle, en especial considerando el incremento de la superficie cultivada abastecida integralmente con agua subterránea hacia el Norte de Tilimuqui, Malligasta y Anguinán. Debido a la explotación intensiva y la profundización de niveles es preciso avanzar en medidas de gestión que tiendan a un uso racional del recurso hídrico en la agricultura. Adicionalmente es necesario profundizar el conocimiento del funcionamiento del sistema hídrico subterráneo a fin de tomar medidas que prioricen su sustentabilidad.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo desean destacar la labor del personal técnico de la EEA INTA Chilecito y el Laboratorio de Alta Complejidad (LAC-UNdeC) que han colaborado en el trabajo. También agradecer al Proyecto Regional con Enfoque Territorial de la EEA INTA Chilecito y Programa Nacional Agua de INTA que han priorizado y financiado esta investigación.

## REFERENCIAS

- Gonzalez Ribot, J.V. 2015.** Evaluación de los niveles estáticos de agua subterránea en las Colonias agrícolas de Tilimuqui, Malligasta y Anguinán, Chilecito, La Rioja. Tesis de grado. Ingeniería Agronómica. Universidad Nacional de Chilecito. pp 41.
- Miguel, R.E.; González Ribot, J.V.; Agüero Alcaras, L.M.; Torres, N. A. 2014.** Aportes para el monitoreo del recurso hídrico en la cuenca Antinaco - Los Colorados, Provincia de La Rioja, Argentina". Actas de las II Jornadas Nacional de Ambiente 2014, Facultad de Ciencias Humanas, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. pp 10.
- Miguel, R.E.; Tálamo, E.; Cristos, D.S.; Gonzalez Ribot, J.V.; Chayle, L. (Inédito).** Análisis y evolución del proceso de salinización del sistema acuífero Antinaco Los Colorados en las Colonias de Vichigasta y Catinzaco, La Rioja, Argentina. Congreso Argentino de Hidrogeología 2016. Enviado para su evaluación. pp 8.
- 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. pp. 28.
- Rocca, J.A.; Ortíz, A.; Zambrano, J; Taballione, C.; Togores, 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. pp. 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. 51 pp.