

BALANCE HIDROLOGICO SUBTERRANEO EN LAS COLONIAS AGRICOLAS DE CATINZACO, CHILECITO, LA RIOJA. IMPLICACIONES AGRICOLAS EN LAS RESERVAS DE AGUA DULCE

Matías Ruiz de Galarreta 1*, Leandro Rodrigues Capitulo 2* y Roberto Esteban Miguel 3*

1* Codexsa ingeniería y Control SL. Autovía Sevilla – Málaga, km 52,300. Apartado postal nº 20 (41620), Marchena, Sevilla. España. matiasruizdegalarreta@hotmail.com

2* Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, 122 y 60 (1990), La Plata, Buenos Aires, Argentina.

3* Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Centro Regional Catamarca La Rioja, Estación Experimental Agropecuaria Chilecito Ruta de la Producción Km7,5 (5361), Tilimuqui, Chilecito, La Rioja. Argentina.

Resumen

La olivicultura y viticultura son las producciones de mayor relevancia de la provincia de La Rioja. El déficit hídrico en todo el año motiva la necesidad del riego para el desarrollo de las plantaciones que, ante la escasez de fuentes superficiales, se efectúa integralmente con agua subterránea. El objetivo de este trabajo es analizar el balance hidrológico del sistema acuífero explotado en las colonias agrícolas de Catinzaco, Chilecito, La Rioja para el año 2021 y su comparación con estudios antecedentes. Se efectuaron mediciones de niveles de agua en 12 pozos en Julio (menor explotación) y en diciembre (mayor explotación) para confeccionar mapas equipotenciales y de isoprofundidad. Adicionalmente, muestras de agua fueron tomadas para comparar la conductividad eléctrica de las aguas explotadas. El crecimiento de la producción de olivo y vid implicó un aumento de la explotación de agua subterránea para satisfacer la demanda hídrica. A partir de láminas de riego teóricas aplicadas para el olivo y vid de 653,2 mm/año y 728,7 mm/año; respectivamente, se estimó un volumen total extraído de agua subterránea para riego (2021) de al menos 29,9 hm³. Para el periodo 2006 – 2021 se registró una variación piezométrica de -18,71 m, equivalente a -1,25 m/año con pérdidas de reservas de agua subterráneas. El balance hidrológico indica una recarga de 18,9 mm por precipitaciones, 66 mm por retornos de riego y 449 mm por afluencia subterránea.

Palabras Claves: balance hidrológico, agua subterránea, agricultura, explotación intensiva.

Abstract

Olive growing and viticulture are the most important productions in the province of La Rioja. The water deficit is continuous, which motivates the need for irrigation for the development of plantations which, given the scarcity of surface sources, is carried out entirely with groundwater. The aim is to analyse the hydrological balance of the aquifer system exploited in the agricultural of Catinzaco colonies, Chilecito, La Rioja for the year 2021 and its comparison with previous studies. Measurements of water levels were made in 12 wells in July (less exploitation) and in December (greater exploitation) to prepare isohypses and isodepth. The growth in olive and vine production implied an increase in groundwater exploitation to satisfy water demand. From theoretical irrigation rates applied for olive trees and vines of 653.2 mm/year and 728.7 mm/year; respectively, a total volume of groundwater extracted for irrigation (2021) was estimated to be at least 29.9 hm³. For the period 2006 – 2021, a piezometric variation of -18.71 m was recorded, equivalent to -1.25 m/year with losses of groundwater reserves. The hydrological balance indicates a recharge of 18.9 mm due to rainfall, 66 mm due to irrigation returns and 449 mm due to groundwater flow.

Keywords: hydrology balance, groundwater, agriculture, intensive exploitation

INTRODUCCIÓN

Las colonias agrícolas de Catinzaco se localizan 45 km al Sur de la ciudad de Chilecito, La Rioja, Argentina, en el valle central de Antinaco–Los Colorados (Figura 1). El área se caracteriza por un clima continental semiárido, con precipitaciones medias anuales de 189 mm para el periodo 1981 - 1990 (Servicio Meteorológico Nacional, 2024) concentradas en épocas estivales y una evapotranspiración que ronda los 1.200 mm (Costa y Minetti, 2001), por este motivo el recurso hídrico superficial es escaso y el abastecimiento para riego se basa fundamentalmente en la utilización de aguas subterráneas. Desde el punto de vista geológico la zona se ubica en la vertiente oriental de las Sierras de Sañogasta en una posición intermedia entre el piedemonte y los Campos de Vichigasta, Catinzaco y Bajos de Carpintería (Instituto Geográfico Militar, 1984 a y b). El sistema acuífero explotado se vincula al ambiente pedemontano caracterizado por la coalescencia de abanicos aluviales, entornos más propicios para la recarga, acumulación y transmisión del agua subterránea. El acuífero es multiunitario con conexión entre los niveles superiores e inferiores, e importantes espesores donde las perforaciones se realizan a grandes profundidades alcanzando valores extremos de 250 m.b.n.t. (García, 2011).

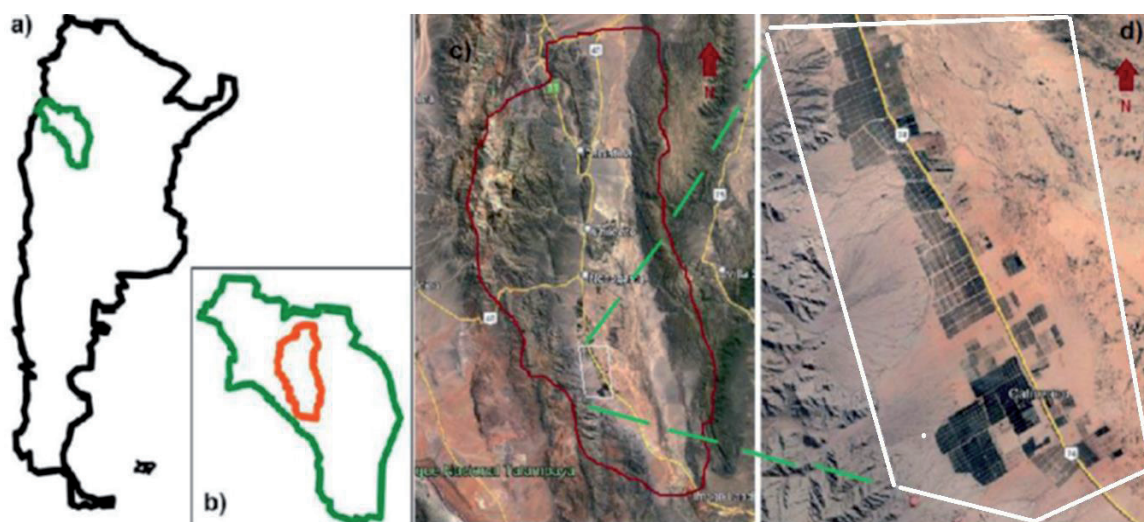


Figura 1. a) Argentina y Provincia de La Rioja. b) Provincia de La Rioja y Cuenca Antinaco Los Colorados (CALC) c) CALC y área de estudio. d) Área de estudio.

La extracción del recurso hídrico subterráneo con fines de riego comienza a finales de la década del 60, desde ese momento, debido al progresivo aumento de superficies cultivadas (vid y olivos), la tasa de descenso medio anual de los niveles estáticos se ha ido incrementando. La contaminación del recurso se observa desde el año 2006 atribuida a retornos de riego y el mal manejo de los efluentes agroindustriales (Pobrete y Guimarães, 2006 y Miguel *et al.* 2016). Actualmente existe una explotación intensiva del recurso subterráneo con una continua disminución de niveles, cambios en la dirección de los filetes de flujo, pérdida de volumen saturado y procesos de contaminación. Debido a la alta vulnerabilidad que este tipo de sistemas acuíferos presentan, es necesario la aplicación adecuada de pautas de manejo y gestión que permitan garantizar la sustentabilidad del recurso en función de la demanda hídrica actual y proyectada a futuro (Miguel, 2020). Por todo lo descrito, el trabajo pretende analizar el balance hídrológico del sistema acuífero explotado para riego en las Colonias Agrícolas de Catinzaco, La Rioja Argentina para el año 2021.

MATERIALES Y METODOS

La concreción de este estudio incluyó tareas de gabinete y de campo. En una primera etapa se realizó el análisis de estudios antecedentes pertenecientes principalmente al Instituto Nacional del Agua, Centro Regional Aguas Subterráneas (INA-CRAS) (Poblete y Guimaraes, 2006) y a el trabajo de Miguel y González Ribot, (2018). Posteriormente, en la campaña desarrollada en julio y diciembre de 2021 se efectuaron mediciones de niveles estáticos en 13 pozos de riego. Empleando un GPS Geodésico de alta precisión, se midieron las coordenadas geográficas, y cota de cada pozo, y empleando sonda piezométrica se calculó la profundidad del nivel estático, que luego se referenció al nivel del mar. Se confeccionaron mapas de isopropundidades y equipotenciales, utilizando el Programa Surfer 11 (herramienta SIG) para la elaboración de los diferentes mapas. Durante las campañas se tomaron 15 muestras de agua subterránea y se determinaron en campo pH, temperatura y conductividad eléctrica con equipo multiparamétrico Hanna 9811-5. Con el fin de analizar cambios en la calidad de las aguas en el tiempo se compararon los datos actuales de conductividad eléctrica con los tomados en el año 2006 por Poblete y Guimaraes (2006) y Miguel y González Ribot (2016).

Para determinar la superficie productiva se calculó con Google Earth Pro el área de cada parcela a nivel de detalle, estimándose las hectáreas totales de Vid y Olivo para los diferentes periodos analizados. Los datos de las láminas de riego aplicadas para cada cultivo, se multiplicaron por la cantidad de hectáreas, obteniéndose los caudales teóricos explotados ($\text{hm}^3/\text{año}$) de cada periodo estudiado.

Para evaluar el balance hídrico se consideró como ingreso una recarga del 10 % de las precipitaciones (Sosic, 1971) para el periodo 1980- 1991 del Servicio Meteorológico Nacional y como egreso a la evapotranspiración estimada por Costa y Minetti (2001). Para analizar y resolver el balance hidrológico se definieron las variables de ingreso, egreso, los almacenamientos y los límites del sistema analizado. Se consideraron los ingresos y egresos dentro del medio subterráneo y la variación del almacenamiento a partir de la ecuación del balance hidrológico en régimen no permanente o transitorio.

La fórmula simplificada del balance hidrológico (Ecuación 1) es:

$$\text{Ingresos} - \text{Egresos} = \pm \text{Variación de almacenamientos (1)}$$

(Ward y Robinson, 2000)

Esta última aplicada a una región en régimen no permanente o transitorio (Ecuación 2):

$$(\text{P} + \text{Afl sup} + \text{Afl sub} + \text{Agua imp}) - (\text{Evt} + \text{Esup} + \text{Esub} + \text{Agua exp}) = \pm \text{Var Alm sup} \pm \text{Var Alm sub (2)}$$

(Ward y Robinson, 2000)

En donde:

P = precipitación

Afl sup= afluencia superficial

Afl sub= afluencia subterránea

Agua imp= agua importada

Evt = evapotranspiración real

Esup = efluencia superficial

Esub = efluencia subterránea

Agua exp= agua exportada

Var Alm sup = variación almacenamiento superficial

Var Alm sub = variación almacenamiento subterráneo

RESULTADOS

Variación hidrodinámica

A continuación, se presentan los resultados hidrodinámicos de la campaña realizada en 2021. Con el fin de obtener una evolución en el tiempo se recopilaron y ajustaron al área de estudio con datos correspondientes Poblete y Guimaraes (2006) y Miguel y González Ribot (2018). En la Tabla 1 se presenta la disminución promedio de los niveles para diferentes periodos y la tasa promedio (m/año). Se observa una progresiva disminución de los niveles, con una tasa promedio para el período 2006 – Dic 2021 de $-1,25 \text{ m/año}$.

Tabla 1. Disminución promedio de los niveles.

Periodo (año)	Años	Variación promedio de niveles (m)	Tasa promedio (m/año)
2006 - 2016	10	-11,17	-1,12
2016 – Jul 2021	5	-5,97	-1,19
Jul 2021 – Dic 2021	0,5	-1,57	-
2006 – Dic 2021	15	-18,71	-1,25

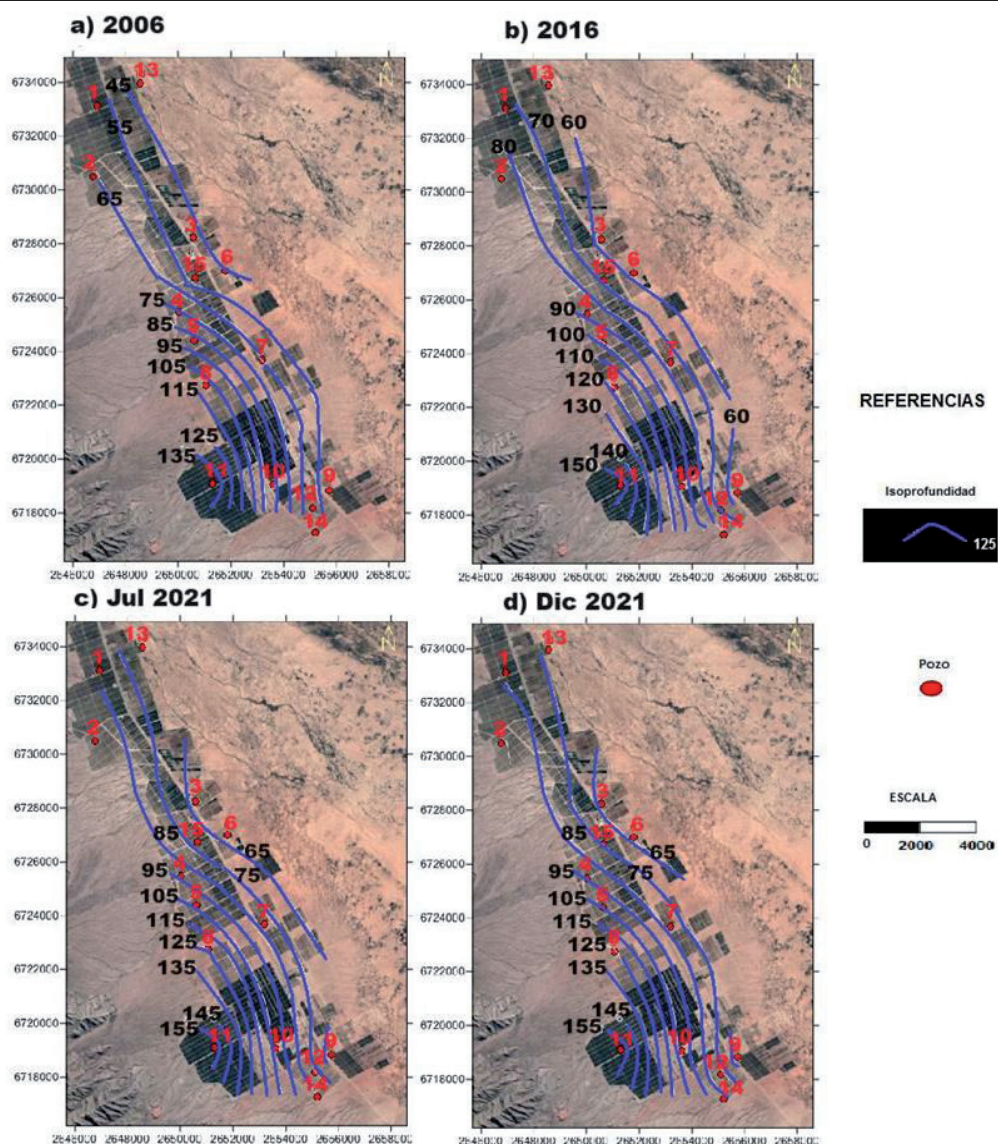


Figura 2. Profundidad de agua subterránea (m h.b.p.). a) 2006 b) 2016 c) Julio 2021 y d) diciembre 2021. Catinzaco, La Rioja.

En la Figura 2 se presentan los mapas de isoprofundidades de los años 2006, 2016, Julio 2021 y diciembre 2021. Se observa un notable y progresivo aumento en los valores de isoprofundidades registrados hacia el Este para el periodo 2006 (Figura 2a) – 2016 (Figura 2b). Entre Julio y diciembre de 2021 (Figura 2c y 2d) no se aprecia tal cambio debido a que el tiempo analizado es corto, sin embargo la disminución de los niveles en solo 6 meses es de -1,57 m, esto es debido a la baja demanda de agua de los cultivos en invierno (julio 2021) y la alta demanda en verano (diciembre de 2021) que requieren de un bombeo intensivo y contribuye al descenso de niveles.

En la Figura 3 se presentan los mapas equipotenciales de los años 2006, 2016, Julio 2021 y diciembre 2021. Se observa en todos los mapas que los filetes de flujo en el sector

septentrional tienen una dirección NW–SE, mientras que al Sur la dirección es N – S. Además, se advierte un trazado más estrecho de las curvas de isopiezas hacia el Norte a causa de un mayor gradiente hidráulico, mientras que al Sur la separación entre isopiezas es mayor con gradientes hidráulicos menores. Analizando secuencialmente los mapas, hay una disminución continua de los niveles piezométricos, esto se identifica claramente en el mapa de 2006 con un valor de 774 m.s.n.m mientras que en el mismo sector para diciembre de 2021 el valor es de 746 m.s.n.m.

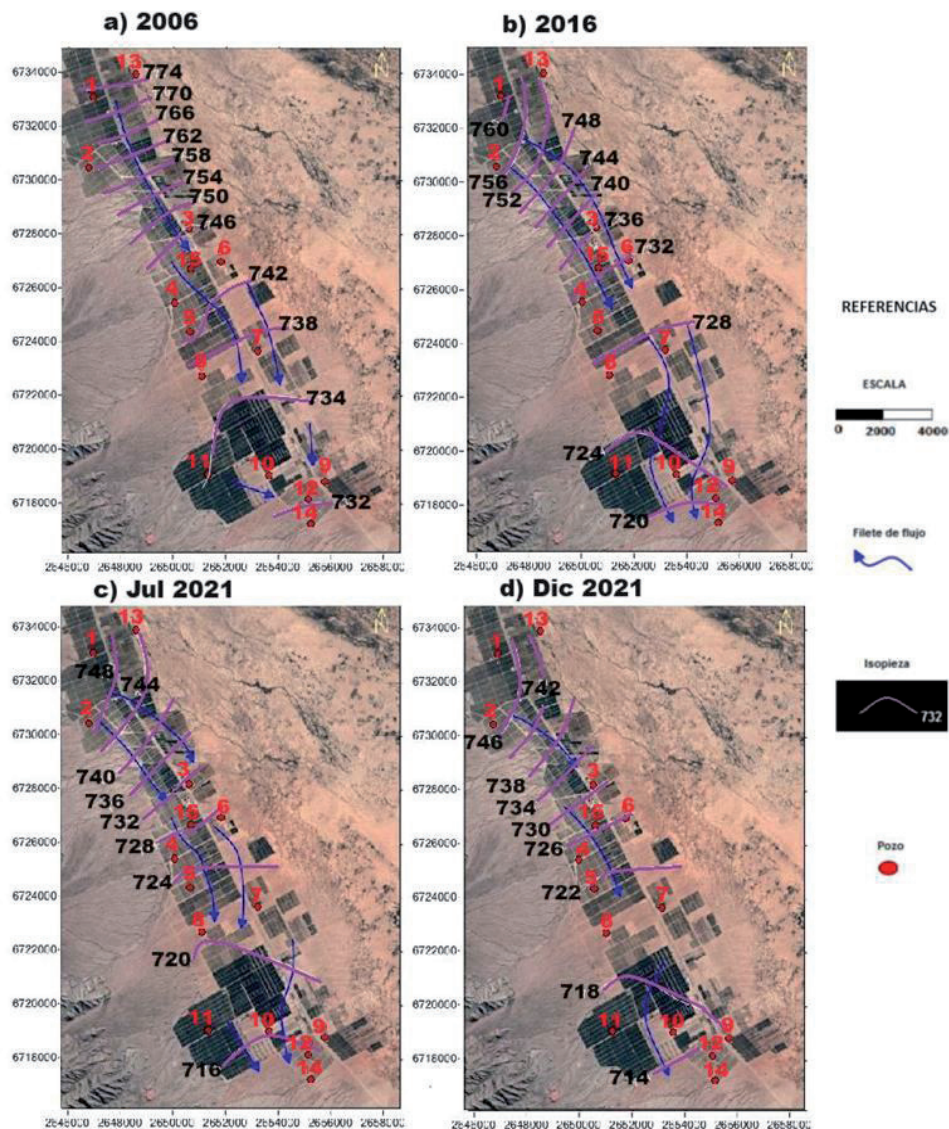


Figura 3. Niveles piezométricos y líneas de flujo. a) 2006, b) 2016, c) Julio 2021 y d) Diciembre 2021. Catinzaco, La Rioja. Fuente: Elaboración propia

Variaciones en la conductividad eléctrica

En la Tabla 2 se presenta la evolución de la conductividad eléctrica del agua explotada en 15 pozos de Catinzaco para cuatro periodos: 2006, 2016, Julio de 2021 y diciembre de 2021. Los datos de 2006 corresponden a INA-CRAS (Poblete y Guimarães, 2006) y los datos de 2016 a (Miguel y González Ribot, 2018). Se observa que los pozos 10 y 12 fueron los que mayores incrementos y valor registraron para el año 2021. El pozo 10 varió de 830 a 2.600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ entre el año 2006 y Julio de 2021 en tanto que el pozo 12 varió de 700 a 4.910 entre el año 2016 y diciembre 2021. Por otro lado, el pozo 15 presenta los valores más elevados de conductividad eléctrica, pero se mantuvieron en el tiempo, al igual que los pozos restantes.

Tabla 2. Evolución de conductividades. Catinzaco, La Rioja.

Pozo	Coord. X	Coord. Y	CE (µS/cm) 2006	CE (µS/cm) 2016	CE (µS/cm) Jul.2021	CE (µS/cm) Dic.2021
1	2646918	6733120	1580	1380	1780	1780
2	2646763	6730484	830	710	1030	880
3	2650562	6728222	SD	870	690	700
4	2650018	6725481	900	670	700	740
5	2650594	6724395	SD	700	700	730
6	2651789	6726983	850	1450	490	1930
7	2653187	6723671	1120	1170	1650	1520
8	2651064	6722728	695	750	SD	680
9	2655715	6718840	950	1340	SD	SD
10	2653608	6719050	960	830	2600	2100
11	2651286	6719075	854	700	760	790
12	2655104	6718186	SD	700	4380	4910
13	2648561	6733961	SD	490	530	520
14	2655208	6717253	SD	760	790	830
15	2650645	6726745	SD	2150	SD	2140

Explotación de agua subterránea

Las superficies ocupadas por cultivos (olivo y vid) se han incrementado fuertemente en el área de estudio. En el año 2004 la superficie cultivada total era de 3.315 ha, 2.900 ha correspondientes a olivos y 415 ha a vid mientras que para el 2016 el total se incrementa a 4.416 ha, de las cuales 3.967 ha son Olivos y 449 ha vid. En el año 2021 prácticamente no se han advertido modificaciones con un total de 4.534 ha, siendo 4.077 ha de olivo y 457 ha de vid.

Tabla 3. Hectáreas de Olivo y vid y caudales teóricos erogados (hm³/año) para los años 2004, 2016 y 2021. Fuente: Elaboración propia

Periodo	Cultivos	Hectáreas	Riego mm/año	Riego m ³ /año/ha	Volumen hm ³ /año
2004	Olivo	2900	Lamina 1= 1053,5	10.535	30,5
			Lamina 2= 653,2	6.532	18,9
	Vid	415	Lamina 1= 941,93	9.419	3,91
			Lamina 2= 728,7	7.287	3,02
2016	Olivo	3967	Lamina 1= 1053,5	10.535	41,8
			Lamina 2= 653,2	6.532	25,9
	Vid	449	Lamina 1= 941,93	9.419	4,23
			Lamina 2= 728,7	7.287	3,27
2021	Olivo	4077	Lamina 1= 1053,5	10.535	42,9
			Lamina 2= 653,2	6.532	26,6
	Vid	457	Lamina 1= 941,93	9.419	4,30
			Lamina 2= 728,7	7.287	3,33

En la Tabla 3 se presentan las hectáreas de olivo y vid para los años 2004, 2016 y 2021, las láminas de riego según el INA-CRAS (1.053,5 para el olivo y 941,93 mm), las recomendadas según Costa y Minetti (2001) (728,7 mm para vid y 653,2 mm para olivo) y los caudales teóricos explotados (hm³/año). En la Tabla 4 se resumen los caudales teóricos explotados en función de las láminas de riego aplicadas en los tres periodos analizados y calculados.

Tabla 4. Caudales teóricos explotados para los años 2004, 2016 y 2021.

Laminas	hm ³ /año		
	2004	2016	2021
1 (INA CRAS)	34,5	46,0	47,2
2 (Costa y Minetti, 2001)	21,9	29,2	29,9

Balance hidrológico

En lo que respecta al balance hídrico, el ingreso por precipitaciones es de 189 mm/año (Servicio Meteorológico Nacional, 2024) y la evapotranspiración potencial ronda los 1.200 mm/año (Costa y Minetti, 2001), constituyendo el principal egreso.

Con respecto al balance hidrológico en el medio subterráneo, previamente a la extracción antrópica por bombeo, las variaciones de reservas eran prácticamente nulas, el ingreso al medio subterráneo igualaba al egreso por estar en límites opuestos. Las variaciones de almacenamiento subterráneo se ven modificadas a partir de la década de los 60 cuando comienza la explotación de aguas subterráneas con fines agrícolas, viéndose reflejado en el descenso progresivo de los niveles piezométricos. En base a las mediciones de los niveles estáticos en trabajos antecedentes y del presente trabajo se constata que para el periodo 2006 – Dic 2021 la tasa promedio de disminución anual de niveles fue de 1,25 m (1250 mm). Tomando este último valor y aplicando el coeficiente de almacenamiento de Sosis de 0,1, la variación del almacenamiento subterráneo modular resulta en 125 mm. El egreso subterráneo se estimó a partir del volumen erogado de 29,9 hm³ correspondientes a las 4.534 ha de olivo y vid calculadas para el año 2021 utilizando las láminas de riego de Costa y Minetti 2001. El volumen calculado a 659 mm, representa el egreso subterráneo, sin embargo, el método de riego por goteo tiene una eficiencia teórica del 90%, por lo tanto, el restante 10% equivalente a 65,9 mm del egreso representa retornos de riego contabilizados como un ingreso al acuífero. De acuerdo con las estimaciones que realizó Sosis (1971) la recarga al acuífero corresponde al 10% de las precipitaciones lo que significa un valor de 18,9 mm. Por último, la afluencia subterránea es de 449 mm y fue calculado a partir de las grandes diferencias existentes entre los ingresos y egresos.

En síntesis, se contabilizaron como ingresos al medio subterráneo:

- ✓ 18,9 mm= 10% total de precipitaciones medias anuales
- ✓ 65,9 mm= retornos de riego
- ✓ 449 mm= afluencia subterránea

Como egresos del sistema:

- ✓ 659 mm= agua exportada por bombeo

La variación del almacenamiento:

- ✓ 125 mm

Por lo tanto, de la fórmula simplificada del balance hidrológico:

Ingresos - Egresos = +/- Variación de almacenamientos:

$$18,9 + 65,9 + 449 - 659 = -125 \text{ mm}$$

De los resultados de la evaluación del balance hidrológico, se observa que gran parte del ingreso al medio subterráneo es a través de la afluencia subterránea. Este valor se calculó a partir de las diferencias existentes entre el egreso por bombeo y el ingreso por precipitaciones y retornos de riego.

CONCLUSIONES

Se advierte en Catinzaco una aceleración continua de los descensos piezométricos evidenciados en los mapas por un incremento y corrimiento hacia el Este de los valores de las líneas de isopropundidades. Para el periodo 2006 – 2016 la tasa promedio de variación de niveles es de -1,12 m/año, para 2016 – Jul 2021 aumento a -1,19 m/año y analizando todo el periodo 2006–Dic 2021 es de -1,25 m/año. Se advierte puntualmente en algunos pozos un incremento de las conductividades para el periodo analizado 2006 – Dic 2021 debido muy posiblemente a retornos de riego o efluentes agroindustriales dispuesto en el suelo, argumentos planteados anteriormente por otros autores que realizaron estudios en la zona de estudio.

El principal egreso subterráneo está representado por el bombeo para satisfacer la demanda hídrica de los cultivos y el progresivo aumento de su extensión en hectáreas pasando de 3.315 ha en 2004 a 4.534 ha en 2021 (considerando olivo y vid). En base a las láminas de

riego propuestas por Costa y Minetti (2001), 653,2 mm/año para el olivo y 728,7 mm/año para la vid, el volumen total extraído de agua subterráneas para 2021 es de 29,9 hm³, equivalentes a 659 mm, valor que representa el principal egreso subterráneo. Los ingresos al medio subterráneo son de 18,9 mm por precipitaciones, 65,9 mm por retornos de riego y 449 mm por afluencia subterránea. La variación del almacenamiento subterráneo es de -125 mm, valor obtenido de la tasa promedio de disminución de niveles de aguas subterráneas para el periodo 2006–Dic 2021. Se corrobora que el balance hidrológico es negativo donde los egresos superan a los ingresos, situación que se evidencia en la progresiva disminución de los niveles piezométricos.

A partir de estos estudios hidrológicos y su problemática antrópica, se comprueba la importancia de efectuar análisis integrados ambientales, donde se crucen las necesidades socioeconómicas de la población considerando el funcionamiento del sistema natural y su protección, a efectos de minimizar los impactos y tender a un desarrollo armónico de la región.

AGRADECIMIENTOS

Esta actividad se financió desde [1] Proyecto Estructural 041 año 2019-2023 “Aportes a la gestión integrada de recursos hídricos en cuencas rurales del sistema agroalimentario argentino” y [2] Proyecto Macro Regional I054 año 2023-2029 “Aporte al estudio y gestión del recurso hídrico en áreas rurales y periurbanas del Noroeste Argentino”. Ambos proyectos corresponden a la cartera programática del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.

REFERENCIAS

- Costa, M.C. y Minetti, J.L.** (2001). El agua: una limitante de la agricultura en La Rioja. Jornada de Avances en la Producción Vegetal del NOA (1998-2001). Tucumán, Argentina. Pág. 146-152.
- García, J.W.** (2011). Captación de aguas subterráneas para riego de olivares en la zona de Catinzaco, Chilecito, La Rioja, Argentina, VII Congreso Argentino de Hidrogeología. Captación y Modelación de Agua Subterránea Salta, Argentina ISBN: 978-987-23936-8-7. Pág. 181-186
- Instituto Geográfico Militar** (1984 a). Carta topográfica Los Colorados, La Rioja. Hoja 2966- 31. Gauss Kruger. 1: 100.000
- Instituto Geográfico Militar** (1984 b). Carta topográfica Estación Vichigasta, La Rioja. Hoja 2966- 25. Gauss Kruger. 1: 100.000
- Miguel, R.E.; Tálamo, E.; Cristos, D.S.; Gonzalez Ribot, J.V.; Chayle, L.** (2016). Análisis y evolución del proceso de salinización del sistema acuífero Antinaco Los Colorados en las Colonias de Vichigasta y Catinzaco, La Rioja, Argentina. En Calidad de Agua Subterránea - IX Congreso Hidrogeológico Argentino. VII Seminario Hispano-Latinoamericano Sobre Temas Actuales de Hidrología Subterránea. Catamarca. Argentina. 1º Edición. Catamarca: Editorial Científica Universitaria – Secretaría de Ciencia y Tecnología –Universidad Nacional de Catamarca. 304-311.
- Miguel, R.E. y González Ribot, J.V.** (2018). Disminución de reservas del recurso hídrico subterráneo por explotación intensiva en el área agrícola de Catinzaco, Chilecito, La Rioja. X Congreso Argentino de Hidrogeología. Planificación y gestión. 1era edición. Editorial de la Universidad Nacional de Salta. Salta, Argentina. ISBN 978-987-633-535-5. pp. 213-220.
- Miguel, R.E.** (2020) Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad Nacional de La Pampa. Ciclo de Conferencias Virtuales de Hidrogeología. 25 de junio de 2020. *Explotación intensiva de agua subterránea en Oasis irrigados de La Rioja. Análisis desde el Nexo Agua, Energía y Alimentos.* [Video]. Geo-Hidrología. Canal YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=pt0Vxp51zqU>
- Servicio Meteorológico Nacional** (2024). Estadísticas de largo plazo, Chilecito Aero, La Rioja. Servicio Meteorológico Nacional. Disponible en <https://www.smn.gob.ar/estadisticas>
- Sosic, M.** (1971). Descripción hidrogeológica del Valle de Antinaco - Los Colorados, Prov. de La Rioja. Dirección Nacional de Geología y Minería (Buenos aires). Boletín 123. 51 pp.
- Poblete, M.A.; Guimaraes R.E.** (2006). Evaluación hidrogeológica de los acuíferos explotados en la cuenca Antinaco-Los Colorados. INA-CRAS. Centro Regional de Aguas Subterráneas. IT 251 Pág. 28.
- Ward, R. C., & Robinson, M.** (2000). Principles of hydrology (4th ed.). McGraw-Hill.