



Características y evolución de manantiales captados para usos múltiples en el distrito Vichigasta, La Rioja, Argentina

Features and evolution of springs for multiple purposes in the Vichigasta district, La Rioja, Argentina

Silva, Santiago H.^{1, 2} ✉ - Poveda, María E.³ - Rodríguez, Corina I.¹ - Miguel, Roberto E.⁴

Recibido: 1 de junio de 2021 • Aceptado: 21 de septiembre de 2021

Resumen

En regiones áridas o semiáridas la presencia de agua para el desarrollo de actividades humanas es relevante, pero su calidad es fundamental en función de los usos que pretendan desarrollarse. En la provincia de La Rioja es escasa y poco actualizada la información sobre la disponibilidad y calidad del agua subterránea utilizada para riego o consumo humano dentro de determinados departamentos y distritos de riego, como es el caso de los manantiales de Vichigasta. El objetivo de este trabajo es analizar las características generales y la evolución del recurso hídrico subterráneo que aflora en manantiales y su evolución temporal en relación a estudios previos, evaluando posibles impactos de las actividades antrópicas realizadas en sus inmediaciones. Se recopilaron datos antecedentes del subsistema natural, se realizaron aforos y una caracterización físico-química bajo normas estandarizadas de conductividad eléctrica, iones mayoritarios y fluoruro. Los resultados indicaron una merma general de los caudales erogados e inclusive el agotamiento de 15 manantiales. La totalidad de los manantiales presentan aguas sulfatadas a excepción del manantial Comunal Chima, el cual evolucionó hacia aguas cloruradas que podrían asociarse a impactos por retornos de riego y la extracción de agua mediante pozos de bombeo en sus inmediaciones. Resulta necesario avanzar en estudios de detalle que permitan elaborar un conjunto de pautas tendientes a la gestión integral del recurso hídrico en esta región.

Palabras claves: Manantiales, Hidrodinámica, Hidroquímica, Impactos Ambientales

1. Centro de Investigaciones y Estudios Ambientales, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires;
 2. Becario doctoral Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires;
 3. Laboratorio de Alta Complejidad, Universidad Nacional de Chilecito;
 4. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Centro Regional Catamarca La Rioja. Estación Experimental Agropecuaria Chilecito.
- ✉ silvasantiago2103@gmail.com

Abstract

In arid or semi-arid regions the presence of water for the development of human activities is relevant, but its quality is essential depending on the uses that are intended to be developed. In the province of La Rioja, information on the availability and quality of groundwater used for irrigation or

human consumption is scarce and not very updated within certain departments and irrigation districts, such as the springs of Vichigasta. The objective of this work is to analyse the general characteristics and evolution of the groundwater resources that outcrop in springs and their temporal evolution in relation to previous studies, evaluating possible impacts of anthropic activities carried out nearby. Background data on the natural subsystem were collected, gauging and physical-chemical characterization were performed under standardized norms for electrical conductivity, majority ions and fluoride. The results indicated a general decrease in the flows and even the depletion of 15 springs. All of the springs show sulfated water except for the Chima Communal spring, which evolved towards chlorinated water that could be associated with impacts from irrigation returns and water extraction by means of pumping wells nearby. It is necessary to advance in detailed studies to develop a set of guidelines for the integrated management of water resources in this region.

Keywords: Springs, Hydrodynamics, Hydrochemistry, Environmental Impacts.

INTRODUCCIÓN

Los manantiales de la localidad de Vichigasta, en la provincia de La Rioja, Argentina, han sido tradicionalmente utilizados para riego por parte de pequeños productores de agricultura familiar. La actividad económica regional se basa en la producción primaria, principalmente el cultivo de olivo, vid, otros frutales de menor relevancia y hortalizas (Miguel et al., 2018). Para el productor agrícola de la zona árida y semiárida, el agua de riego tiene un valor igual o mayor que el recurso tierra, debido a que de la dotación, frecuencia y calidad del recurso utilizado depende la cantidad y calidad de producción. Para técnicos y productores, esta es la limitante fundamental para la actividad agrícola en zonas como el Valle Antinaco-Los Colorados (Cubiló et al., 2015).

Conocer y comprender el estado y dinámica del recurso hídrico, constituye la base de todo proceso de evaluación y gestión; sin embargo, sobre los manantiales de Vichigasta existe limitada información sobre sus características hidrológicas, situación que dificulta conocer el estado del sistema hídrico y su evolución en el tiempo. Aun así, se encuentran algunas mediciones puntuales y fragmentadas realizadas por Victoria (1962), Rocca et al. (1975) y García Perón (1979), siendo necesario destacar trabajos como el de Sosic (1971) donde se desarrolla para el año 1961 el único aforo puntual de la totalidad de los manantiales de la localidad. Por otra parte, Miguel et al. (2016) describen en el área de Vichigasta procesos de explotación intensiva del sistema acuífero, con incremento de tenores salinos por retornos de riego.

Miguel et al. (2018) explica que los manantiales se captan a partir de la construcción de drenes horizontales (qanats) para alcanzar el nivel freático y que luego de un tiempo, cuando los caudales disminuyen, se prolongan para obtener nuevamente el caudal deseado. A su vez, advierte que en el manantial Comunidad de Barrio Chima esta situación podría estar agravada debido al establecimiento, aguas arriba de los drenes, de un emprendimiento olivícola y dos pozos de bombeo para riego. Sumado a ello, en las inmediaciones del manantial se construyó un pozo de bombeo utilizado para el consumo humano. Esta situación impactaría tanto en la capacidad drenante (capacidad de captar y erogar agua subterránea) y la consiguiente disponibilidad de agua, como también en los procesos de recarga del acuífero con retornos de riego.

En este contexto, sumado a la preocupación manifiesta de los productores por atravesar largos periodos de sequía principalmente en época estival (Moyano, 2011), es que esta investigación busca analizar las características generales y la evolución

del recurso hídrico subterráneo que aflora en manantiales y su evolución temporal en relación a estudios previos, evaluando posibles impactos de las actividades antrópicas realizadas en sus inmediaciones.

ÁREA DE ESTUDIO

El Distrito de Vichigasta (Departamento de Chilecito) se emplaza dentro de la Cuenca Antinaco-Los Colorados, la cual posee una superficie de 2.965 km² en su valle central (Victoria, 1962) y se desarrolla con orientación NNO-SSE entre las Sierras del Famatina al Oeste y las Sierras del Velasco al Este. El límite Norte se encuentra en la localidad de Pituil mientras que el límite Sur se encuentra en la Formación de Los Colorados (Sosic, 1971) (Figura 1).

Según Auge et al. (2006), la Cuenca Antinaco-Los Colorados pertenece a la Región Hidrogeológica de Sierras Pampeanas y sus Valles, sin embargo los aportes realizados por Candiani et al. (2011) sobre las características distintivas en su composición geológica sugieren que esta región debe denominarse como Región de Famatina, estando por fuera de las Sierras Pampeanas.

Su clima es continental, templado cálido, semiárido a árido (Rosa, 2000). Según el Servicio Meteorológico Nacional (S.M.N) la precipitación media anual es de 189 mm (período 1981-1990). A su vez, para los años de interés 1960-1961 se determinaron precipitaciones anuales de 219 y 183 mm respectivamente (Costa y Minetti, 2001) y para los años 2018-2019 de 232 y 230 mm anuales (Datos inéditos sistematizados en Estación Meteorológica Automática de INTA E.E.A. Chilecito). En la Figura 2 se presenta la distribución de las precipitaciones a lo largo del año. A su vez, la evapotranspiración potencial en el valle es de 1.193 mm, lo que determina un déficit hídrico a lo largo de todo el año (Costa y Minetti, 2001).

La localidad de Vichigasta se encuentra sobre el flanco oriental de la Sierra de Sañogasta, presenta una geomorfología accidentada derivada de procesos tectónicos donde las dislocaciones asociadas a fallas originaron afloramientos del Cuaternario inferior, asentados sobre un nivel base impermeable de areniscas y arcilitas rojizas perteneciente a Cuenca de Paganzo (Azcuay et al., 1987).

El agua que proviene del abanico aluvial de la Sierra de Sañogasta, infiltra y se acumula sobre los estratos impermeables, los cuales están inclinados en dirección contraria al sentido de flujo subterráneo, provocando que circule a través de un paleo-relieve y aflore originando manantiales a lo largo de la falla (Sosic, 1971). Durante la construcción del pozo de bombeo localizado 2000 m aguas arriba de los manantiales, sobre el ápice

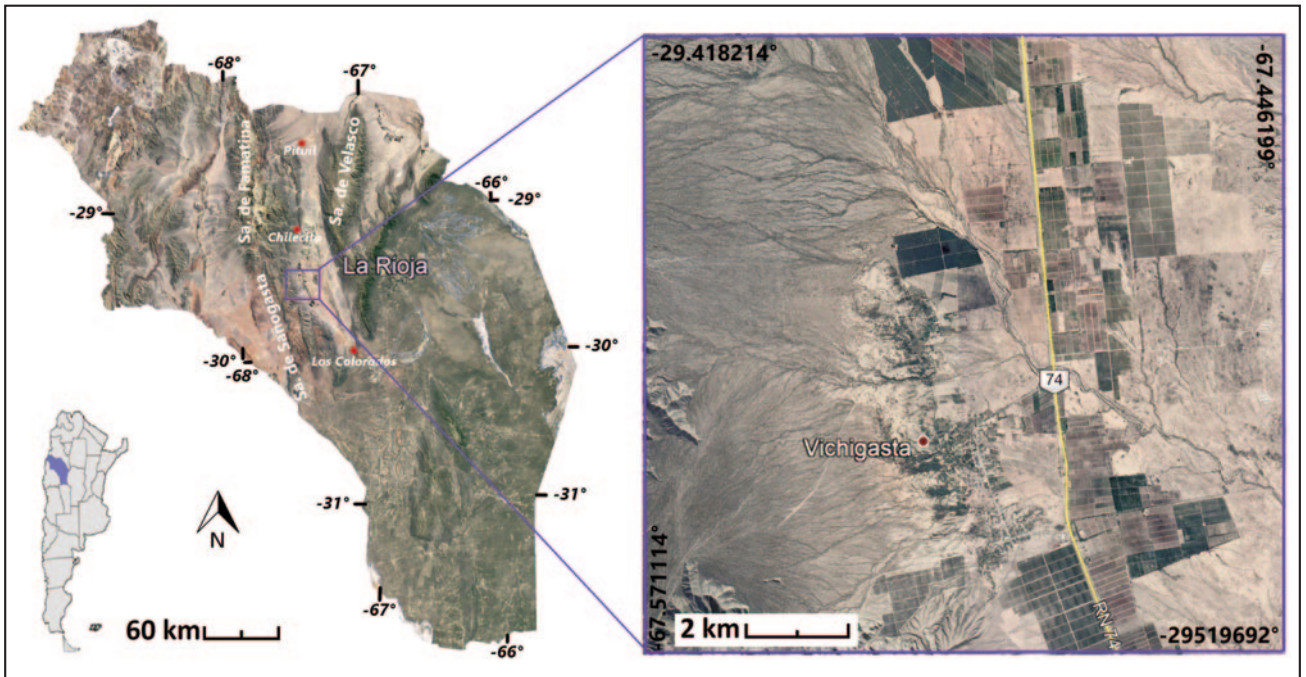


Figura 1. Ubicación geográfica del Distrito Vichigasta, provincia de La Rioja, Argentina.

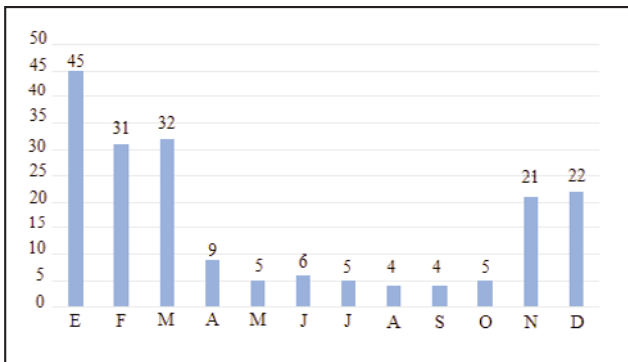


Figura 2. Distribución de precipitaciones según Chilecito Aero S.M.N (1981-1990).



Figura 3. Afloramientos de basamento en inmediaciones de manantiales.

del abanico aluvial, se determinó la profundidad del basamento rocoso a 146 metros de profundidad (ConHidro S.R.L, 2017) mientras que un pozo localizado en el área superior de la escarpa de falla, donde afloran los manantiales, alcanzó los 20 metros de profundidad antes de alcanzar el basamento rocoso, con un nivel estático de 8 m.h.b.p. (V. Ormeño, Comunicación Personal, Marzo de 2021) Este basamento impermeable de areniscas y arcilitas rojizas, aflora en inmediaciones de los manantiales (Figura 3).

Según Miguel et al. (2018) se considera a dichos manantiales como “manantial enterrado” o de tipo hipocreno (Springer y Stevens, 2009) presentando niveles de agua que se aproximan, pero no alcanzan la superficie. La descarga de estos manantiales es lo suficientemente baja, por lo que se puede evapotranspirar

en su totalidad y no presentar una expresión superficial. A fin de acceder al recurso, los pobladores realizan obras de captación (drenes horizontales) en el bordo desde la superficie hasta y debajo del nivel freático, obteniendo así un flujo de agua que satisfaga la demanda para múltiples usos (agrícola ganadero privado y comunal, consumo humano, fabricación o elaboración de productos comestibles y de la construcción, entre otros), siendo este recurso la principal fuente de agua que sustenta la actividad productiva de pequeños productores y la agricultura familiar.

MATERIALES Y MÉTODOS

Inicialmente se realizó la búsqueda de información antecedente en relación al medio físico-natural. Durante tres jornadas

de campo desarrolladas durante el mes de enero y febrero de 2019 se coordinó junto con referentes locales la visita a manantiales públicos y privados relevados por *Sosic (1971)*, localizando los puntos de aforo. Se efectuó el aforo semanal durante tres meses desde el 31 de enero al 25 de Abril de 2019 en 12 manantiales seleccionados en base a tres cualidades: que tengan un uso exclusivo agrícola y ocasional para consumo humano; que el acceso sea apto para vehículos de tracción simple o no demore más de 20 minutos a pie; que existan potenciales peligros en el acceso (animales o personas hostiles que no permitieran realizar los aforos correspondientes). Para la estimación del caudal se utilizaron tres métodos de aforo en virtud de las posibilidades de cada canal: micromolinete Global Water PF-111 (Figura 4), flotador de superficie y volumétrico con recipiente de volumen conocido. Paralelamente, se realizó una caracterización físico-química básica de campo con la medición in situ de temperatura (°C), pH (unidad de pH), y conductividad eléctrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$) con equipo multiparamétrico Hanna 9811-5 calibrado con soluciones específicas antes de cada salida (Figura 4).

En abril de 2019 se incorporaron 5 manantiales a los 12 seleccionados previamente debido a que fueron considerados relevantes para su análisis en laboratorio (uso asociado a riego y consumo humano). En los 17 manantiales se obtuvieron muestras de agua para determinar, además de los parámetros de campo, iones mayoritarios y fluoruro bajo normas estandarizadas *APHA (2012)* (Figura 4). Los datos se analizaron estadísticamente bajo Software Microsoft Excel® y se representaron bajo diagrama de Piper y Riverside en Software libre *EASYQuim 4.0 (GHS, 2002)*.

En adición, se estableció el límite de la cuenca que alimenta la zona de los manantiales de Vichigasta, identificando a través de imágenes satelitales las divisorias de agua pertenecientes al sistema de subcuencas desarrolladas sobre el abanico aluvial de la Sierra de Sañogasta y efectuando su cierre donde se encontraría la falla, alcanzando así un área de 294 km². También se efectuó una estimación de la recarga potencial considerando que el

10 % de lo precipitado recarga el sistema hídrico subterráneo en base al criterio establecido por *Sosic (1971)* para la Cuenca Antinaco-Los Colorados.

Para evaluar la calidad química de las aguas subterráneas erogadas por los manantiales se los comparó con límites fijados por el *Código Alimentario Argentino (2012)* para agua potable. Por otra parte, se realizó el análisis particular de la evolución del Manantial Chima con datos antecedentes relevados por la Estación Experimental Agropecuaria INTA-Chilecito desde 2015 hasta 2019.

Este estudio presenta una serie de limitaciones que indefectiblemente influyen en el análisis de la situación y de las interpretaciones que se efectuarán, estas son: ausencia de información meteorológica histórica y de estaciones meteorológicas en funcionamiento en el área de estudio; inexistencia de antecedentes sobre parámetros hidrogeológicos (transmisividad, permeabilidad y coeficiente de almacenamiento); tiempo limitado de análisis de caudales en manantiales, ya que el trabajo se efectúa desde enero a abril de 2019 no abarcando un ciclo hidrológico.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Del conjunto de 30 manantiales relevados por *Sosic (1971)* se identificaron y georreferenciaron un total de 23, debido a que los restantes se encuentran actualmente agotados. A su vez, durante el reconocimiento se localizaron cinco nuevas captaciones (Figura 5).

Solo tres manantiales comunales abarcan a la mayoría de los productores denominados localmente como: La Común-El Totoral, Los Altos y Comunidad de Barrio Chima. Los caudales erogados desde los manantiales se distribuyen por sistemas de canales de piedra cementados que atraviesan la localidad en el sentido de la pendiente topográfica (Figura 6). Por el contrario, los manantiales de uso privado presentan estanques y sistemas de conducción subterránea cuando el predio se encuentra alejado de la zona de surgencia natural de los manantiales.

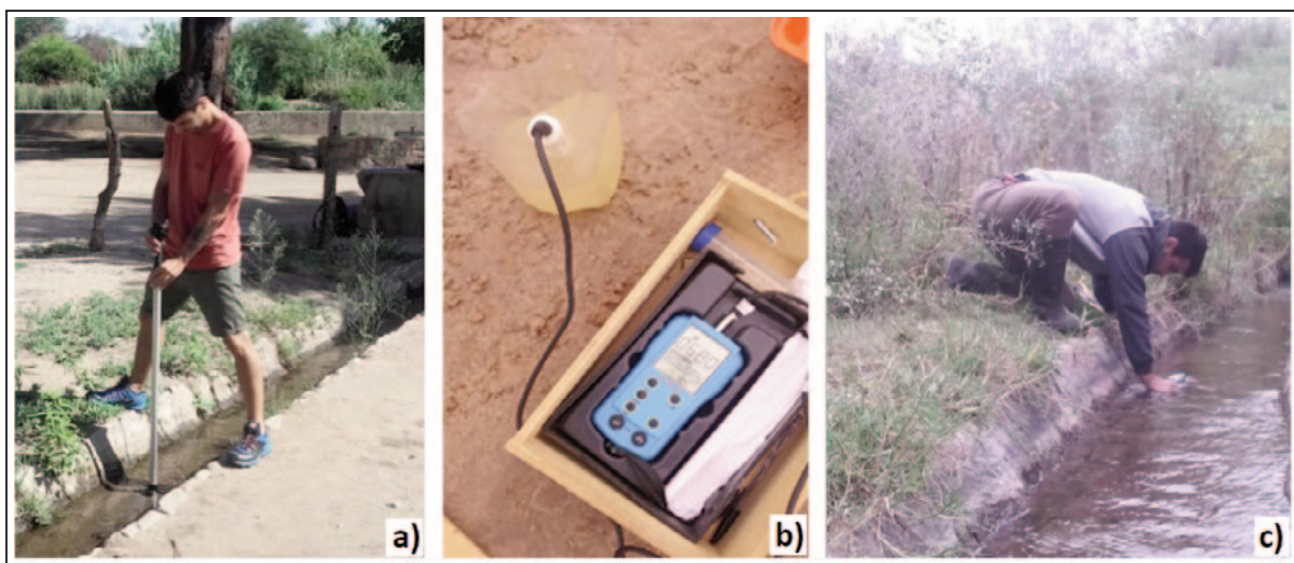


Figura 4. a) Aforo de caudal por micromolinete; b) Caracterización físico-química de campo; c) Obtención de muestra de agua para análisis físico-químico.

Se destaca que de todos los manantiales aforados solo el manantial Rivas (n°4) y La Común (n°10) incrementaron el caudal erogado con respecto a sus datos antecedentes. Los caudales medios del período presentaron valores máximos de 25,8 (L seg⁻¹) en el manantial n°10, ubicado en el centro de la localidad, y mínimos de 0,02 (L seg⁻¹) en los manantiales situados cercanos a los extremos Norte (manantial n°8 “Abalay”) y Sur

(manantial n°26 “P. Miguel”) del área de estudio respectivamente. Por otra parte, se advierte un marcado cambio en los caudales de los manantiales comunales Los Altos (n°9) y La Común (n°10), en principio se considera que, como describe *Miguel et al. (2018)*, se debe en parte a la falta de mantenimiento de los drenes horizontales utilizados para la captación.

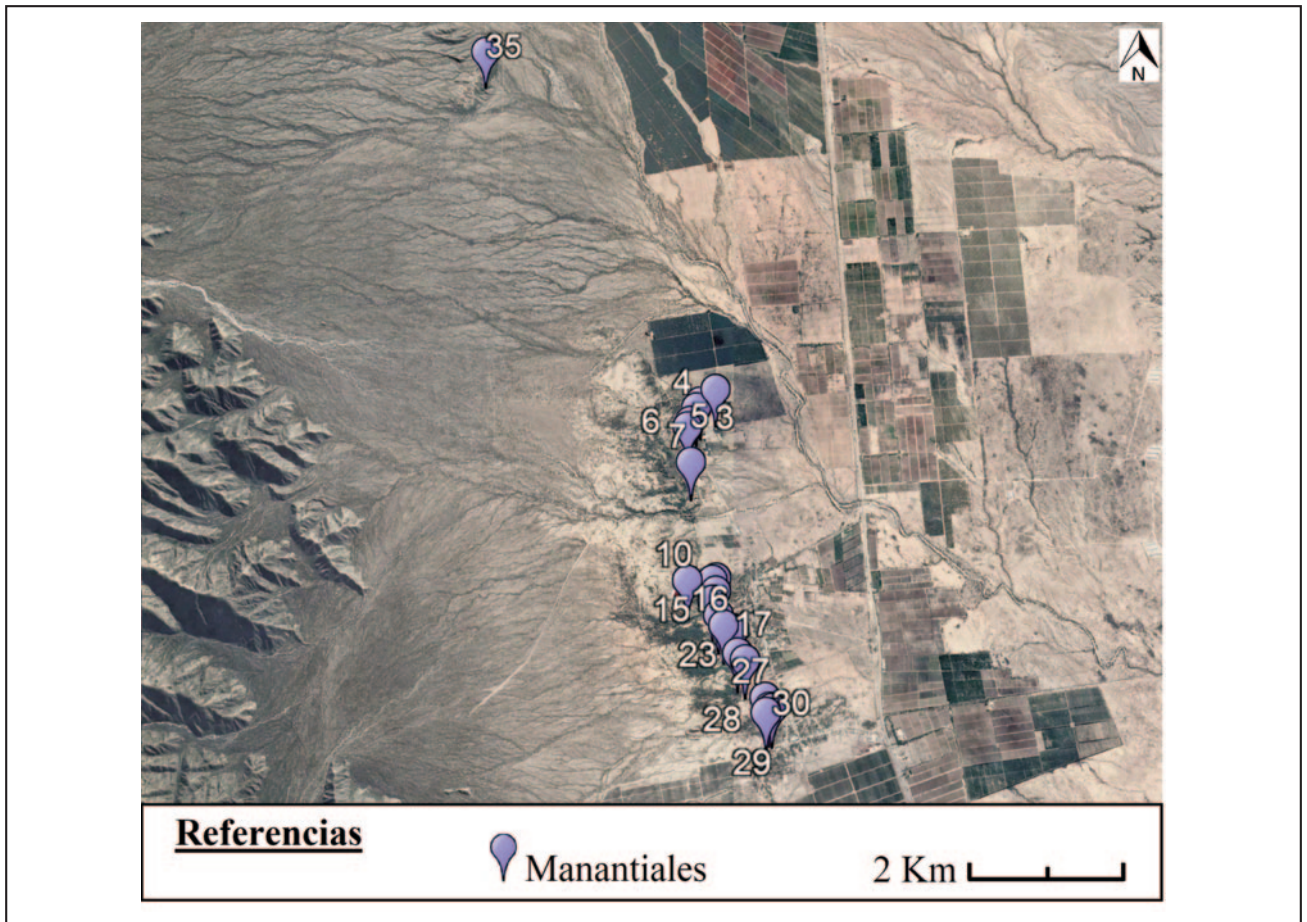


Figura 5. Ubicación de manantiales en el distrito de Vichigasta.

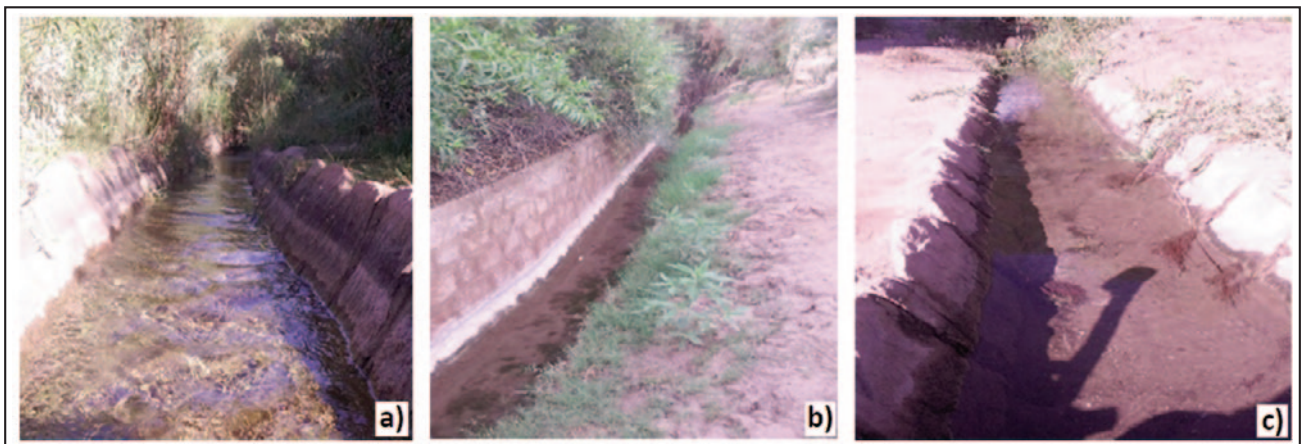


Figura 6. Canales de conducción de los manantiales Comunales. a) La Común- El Totoral; b) Los Altos; c) Comunidad de Barrio Chima.

Tabla 1. Comparación de caudales erogados por los manantiales entre 1961 y 2019

Nº de Orden	Área	Coordenadas		Q (L seg ⁻¹)	Q (L seg ⁻¹)
		Latitud	Longitud	1961	Enero-Mayo 2019
1	Patayaco	-29.461589 ⁰	-67.515624 ⁰	0,63	Abandonado
2	"	SD	SD	0,09	SD
3	"	-29.463603 ⁰	-67.511760 ⁰	4	1,38
4	"	-29.465931 ⁰	-67.514464 ⁰	1,75	2,5
5	"	-29.467617 ⁰	-67.515299 ⁰	0,4	0,33
6	"	SD	SD	1,26	Agotado
7	"	-29.468282 ⁰	-67.515634 ⁰	0,31	SD
8	"	-29.472417 ⁰	-67.515437 ⁰	Trabajos de captación	0,02
9	La Plaza	-29.486985 ⁰	-67.515268 ⁰	24	2,83
10	"	-29.486994 ⁰	-67.512070 ⁰	1,5	25,8
11	"	-29.486736 ⁰	-67.511578 ⁰	11,24	0,74
12	"	-29.488305 ⁰	-67.511623 ⁰	7,15	1,84
13	"	-29.488882 ⁰	-67.512042 ⁰	0,31	Agotado
14	"	-29.489417 ⁰	-67.512071 ⁰	0,31	Agotado
15	"	-29.491147 ⁰	-67.511251 ⁰	2,5	1,10
16	"	-29.492351 ⁰	-67.510523 ⁰	1,2	0,11
17	"	-29.492866 ⁰	-67.509104 ⁰	0,63	0,26
18	"	SD	SD	1	Agotado
19	"	SD	SD	Trabajos de captación	Agotado
20	"	SD	SD	0,12	Agotado
21	Chima	-29.495673 ⁰	-67.508619 ⁰	2,11	Agotado
22	"	SD	SD	0,12	Agotado
23	"	-29.496499 ⁰	-67.507589 ⁰	2	0,14
24	"	SD	SD	1	Agotado
25	"	-29.499420 ⁰	-67.504703 ⁰	1,5	Agotado
26	"	-29.465195 ⁰	-67.514018 ⁰	1,26	0,02
27	"	-29.500897 ⁰	-67.504894 ⁰	No se pudo aforar	SD
28	"	-29.502050 ⁰	-67.504257 ⁰	0,89	0,21
29	"	-29.502649 ⁰	-67.504740 ⁰	1,26	Abandonado
30	"	-29.502194 ⁰	-67.503952 ⁰	15	6,69
Nuevos Manantiales					
31	La Plaza	-29.48159 ⁰	-67.51679 ⁰	SD	0,21
32	"	-29.482621 ⁰	-67.516334 ⁰	SD	0,12
33	Patayaco	-29.465191 ⁰	-67.513887 ⁰	SD	0,14
34	"	-29.419987 ⁰	-67.545268 ⁰	SD	0,17
35	"	-29.419749 ⁰	-67.544988 ⁰	SD	0,19
Q total (L seg⁻¹)				83,54	44,8

*SD: sin dato.

En la Figura 7 se establece el límite de la cuenca de aporte potencial a la recarga de los manantiales de Vichigasta efectuando su cierre donde se encontraría la falla, alcanzando así un área de 294 km². Considerando el promedio de la precipitación media para los años 1960-1961 (201 mm) en base a Costa y Minetti (2001), el total de agua precipitada en el área sería de 59,1 (hm³ año⁻¹). Utilizando el criterio planteado por Sosic (1971) para la cuenca, en donde un 10 % de lo precipitado recarga el acuífero, se obtiene un valor de 5,90 (hm³ año⁻¹), lo que equivale a una descarga potencial en el área de falla de alrededor de 187 (L seg⁻¹), aplicando la misma fórmula y coeficiente de recarga para los años 2018-2019 con un promedio de precipitación media de 231 mm se obtiene un valor de recarga de 6,79 (hm³ año⁻¹) y una descarga potencial de 215 (L seg⁻¹).

En cuanto a la extracción del recurso hídrico subterráneo, se evidencia una marcada explotación en el área distal del abanico aluvial (aguas abajo del área de los manantiales) asociado a la producción agrícola, evidenciándose procesos de profundización

de niveles estáticos y pérdida de reservas de agua subterránea (Miguel et al., 2018). No obstante, por su localización estas extracciones no afectan la dinámica de los manantiales. Sin embargo, cabe aclarar que aguas arriba de estos se han desarrollado en los últimos años dos pozos de extracción para agua potable y dos pozos para riego en inmediaciones de los drenes, lo que puede disminuir los niveles estáticos en determinadas áreas y afectar localmente su capacidad drenante. Es esperable que, para abastecer de agua potable a la población y el riego de 110 hectáreas de olivo (lámina de 1.000 mm año⁻¹) se extraigan al menos 0,2 y 1,10 (hm³ año⁻¹) respectivamente, lo que significa una extracción total de 1,30 (hm³ año⁻¹), equivalente a un 19,14 % de la recarga. De esta manera, la descarga potencial en el área de falla se reduce de 215 (L seg⁻¹) a 173 (L seg⁻¹) para 2019. Se podría inferir que la disminución en la disponibilidad de agua para riego no tendría su origen en el volumen de agua que recarga la cuenca. Una situación de este tipo, aunque con sus particularidades hidrológicas e hidrogeológicas, se evidenció y advirtió en la Isla Gran Canaria



Figura 7. Límite de la cuenca de aporte potencial a la recarga de los manantiales de Vichigasta.

Norte por *Hernández Quezada, Cabrera y Custodio (2011)*, donde el incremento de pozos y de demanda de agua para uso agrícola afectaron los caudales erogados por los manantiales de uso tradicional.

En la Tabla 2 se detallan los datos estadísticos descriptivos de temperatura, pH y conductividad eléctrica para el conjunto de manantiales. Las temperaturas medias del conjunto son de 22,8 °C, con variaciones de acuerdo al horario de aforo y los sistemas de conducción desde la zona de surgencia de los manantiales hasta el sitio de medición y muestreo. Si bien en ningún caso esa distancia supera los 200 m, la baja velocidad de flujo y las temperaturas de verano, pueden modificar los valores registrados. El pH medio ronda 7,6 siendo aguas ligeramente alcalinas. Si bien los valores relevados de conductividad eléctrica son similares en la mayor parte de la localidad con valores menores a 807 ($\mu\text{S cm}^{-1}$) en el 95% de los manantiales, se observa un aumento hacia el Suroeste del área (Barrio Chima), donde se registró el valor máximo de 1.040 ($\mu\text{S cm}^{-1}$) en el manantial Comunidad de Barrio Chima, duplicando los valores medios del resto de los manantiales ($497 \pm 144 \mu\text{S cm}^{-1}$).

Tabla 2. Valores estadísticos de los parámetros de campo en el periodo Enero-Abril 2019 (n = 12).

	Temperatura(°C)	pH	Conductividad eléctrica.($\mu\text{S cm}^{-1}$)
Máximo	30,5	8,1	1040
Percentil 0,95	29,4	8,0	807
Media	22,8	7,6	497
Percentil 0,05	18,6	7,3	450
Mínimo	17,6	7,2	430
σ	$\pm 3,4$	$\pm 0,2$	± 144

En la Tabla 3 se presentan los valores de las muestras de agua analizadas en laboratorio para pH, conductividad eléctrica, iones mayoritarios y fluoruro de los 17 manantiales seleccionados, donde se observa una mayor diferenciación del manantial de Barrio Chima en relación a los valores de conductividad eléctrica

Tabla 3. Iones mayoritarios, pH, conductividad eléctrica, dureza y fluoruro (n = 17).

Manantial	pH	CE ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	HCO ₃ ⁻ (ppm)	Cl ⁻ (ppm)	NO ₃ ⁻ (ppm)	SO ₄ ⁼ (ppm)	Ca ⁺⁺ (ppm)	Mg ⁺⁺ (ppm)	Na ⁺ (ppm)	K ⁺ (ppm)	Dureza (ppm)	F ⁻ (ppm)
Osman (3)	7,9	460	85,8	34,8	5,47	108,7	56,43	5,7	48	4	164,4	1,40
Rivas (4)	7,2	470	71,1	36,5	4,29	130,9	51,49	6,9	52	4	157,2	1,40
Sánchez (5)	7,4	580	125,2	38,2	1,38	129,1	68,59	13,9	56	3	228,5	2,40
Los Altos (9)	7,9	470	73,8	36,5	11,09	92,1	47,88	5,8	72	4	143,5	3,00
La Común (10)	7,6	470	87,0	38,2	9,52	107,1	50,54	10,5	60	4	169,6	2,60
Del Marco (11)	7,7	520	118,8	41,7	1,30	130,5	51,7	4,0	56	4	145,8	2,20
Anzálás (12)	7,5	490	90,0	38,2	9,72	90,6	52,82	4,9	64	4	152,0	2,80
Giménez (15)	7,6	580	113,2	41,7	10,26	98,9	64,41	8,4	72	4	195,7	2,70
L. Ontivero (16)	7,3	560	96,4	48,7	14,41	98,5	67,83	3,2	70	4	182,9	2,60
P. Ontivero (17)	7,4	490	87,0	45,2	14,79	109,9	54,2	6,0	62	4	160,1	2,40
Luna (28)	7,3	635	90,0	93,8	13,01	162,0	79,61	3,1	98	3	211,9	2,80
Barrio Chima (30)	7,7	1040	73,2	218,9	11,67	191,8	121,9	3,8	150	5	320,6	3,00
Don Faustino (31)	7,6	460	78,2	33,0	1,10	124,3	48,83	3,9	64	3	138,2	1,00
Ishanca 1 (32)	7	505	61,4	26,1	2,64	125,9	32,49	7,6	68	4	112,6	2,60
Ishanca 2 (33)	7,4	490	90,8	27,8	2,83	134,7	50,92	10,2	60	4	169,1	1,40
Vertiente Vieja (34)	7,8	460	67,3	34,8	3,92	134,4	45,22	2,5	72	3	123,5	1,80
Vertiente Nueva (35)	7,3	430	57,6	31,3	3,28	103,6	34,2	2,8	58	4	96,9	1,40
Máximo	8,0	1040	125	219	14,8	192	122	13,9	150	5	320	3,0
Percentil 0,95	7,8	736	120	125	14,5	169	90,2	11,3	111	4,25	251	3
Media	7,5	490	87,0	38,2	7,1	124	51,7	5,66	64	4	160	2,2
Percentil 0,05	7,2	454	60,6	27,4	1,26	91,8	33,8	2,74	51,2	3	109	1,32
Mínimo	7,0	430	57,6	26,1	1,10	90,6	32,5	2,5	48	3	96,9	1,0
σ	0,25	140	19,1	45,8	4,89	26,0	20,3	3,18	23,5	0,53	51,5	0,66

del resto de las muestras analizadas. En la Figura 8a se presenta el Diagrama de Piper en el cual se tipificaron las aguas de los manantiales como sulfatadas sódico-cálcicas, exceptuando el manantial Comunidad del Barrio Chima que presenta agua clorurada sódico-cálcica. El Diagrama de Riverside (Figura 8b) determinó que 16 de los manantiales pertenecen a la clase C2S1, con agua de salinidad media y baja peligrosidad sódica y el manantial Chima a C3S1, agua de salinidad media a alta y baja peligrosidad sódica. Aguas arriba de los manantiales de Barrio Chima, se observan pozos de bombeo para riego, la plantación de olivos bajo riego y en sus inmediaciones un pozo de bombeo para agua de consumo humano (Figura 9), actividades que disminuyen el volumen de agua subterránea y tienen el potencial de incorporar sales a través de retornos de riego que incrementarían la concentración iónica del agua subterránea impactando en su calidad.

Las concentraciones de los iones mayoritarios analizados se encuentran por debajo de los límites establecidos para el agua potable según el *Código Alimentario Argentino (2012)*, a excepción de las concentraciones de Fluoruro en agua. El límite de contenido recomendado para la región de Fluoruro es: límite inferior: 0,7 ppm; límite superior: 1 ppm. Se observó que todas las muestras presentan concentraciones por encima del límite superior lo que conlleva a que el agua de los manantiales no sea apta para consumo humano. Las muestras analizadas presentan una media de 2,2 ppm y máximos de 3,0 ppm en el manantial Los Altos (9) y Comunidad del Barrio Chima (30), localizados en inmediaciones de dos pozos de bombeo para abastecimiento de agua para consumo humano para la localidad de Vichigasta (Figura 10). Debido a que algunos de estos manantiales son utilizados para consumo humano, se observaron en campo potenciales

afectaciones a la salud por fluorosis hídrica en parte de la población.

Comunidad de Barrio Chima

El caso de este manantial merece un análisis particular ya que desde lo hidroquímico se observa una marcada diferencia con respecto al resto de los manantiales. Si se consideran los trabajos antecedentes en el área que advierten la disminución de los caudales erogados en el área y el aumento de la conductividad eléctrica desde el año 2015 (*Miguel et al., 2018*), los cuatro (4) meses de medición semanal realizados en esta investigación, los datos de precipitación media del SMN (media de 189 mm) y los relevados por INTA E.E.A. Chilecito por encima de la media para los años en interés, se pone de manifiesto una potencial influencia de la explotación de agua subterránea y la recarga de sales producto de retornos de riego aguas arriba del sistema de drenes que capta el manantial. En la Figura 11, se presenta la evolución de caudales y su conductividad eléctrica desde julio de 2015 a abril de 2019, mientras que en la Figura 12 se presenta la comparación del tipo de agua en diagrama de Piper para abril de 2016 (muestra obtenida por INTA EEA Chilecito) y abril de 2019. Se advierte como el agua evolucionó de Bicarbonatada-Sulfatada Cálcico-Sódica a Clorurada Sódico-Cálcica, lo que conlleva a reforzar la hipótesis de los retornos de riego, en especial por el incremento de anión conservativo cloruro. De todas maneras, es necesario avanzar hacia estudios de mayor detalle (hidrodinámico e isotópico) en el área que permitan confirmar esta hipótesis y el modelo conceptual de lo que sucede en este sector de los manantiales de Vichigasta.

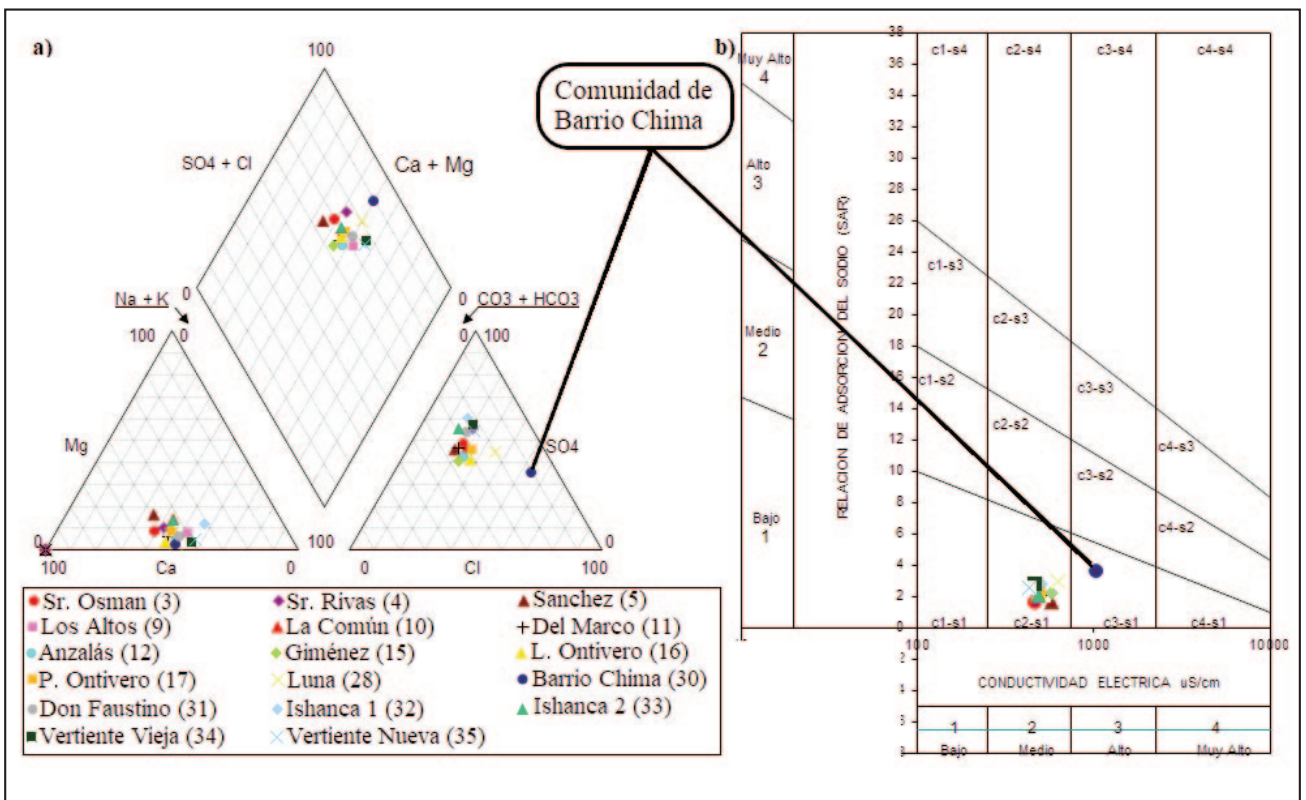


Figura 8. Diagramas hidroquímicos: a) Piper; b) Riverside.

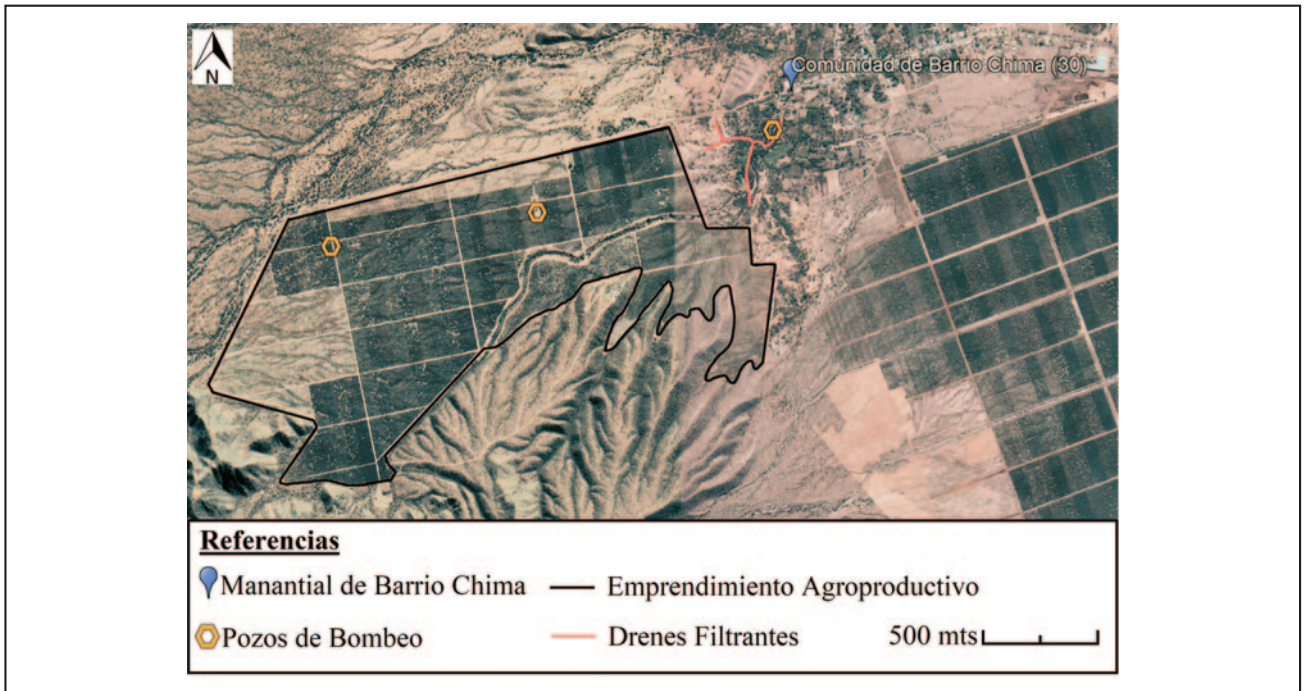


Figura 9. Actividades antrópicas aguas arriba y en inmediaciones del área de captación comunal del Barrio Chima.

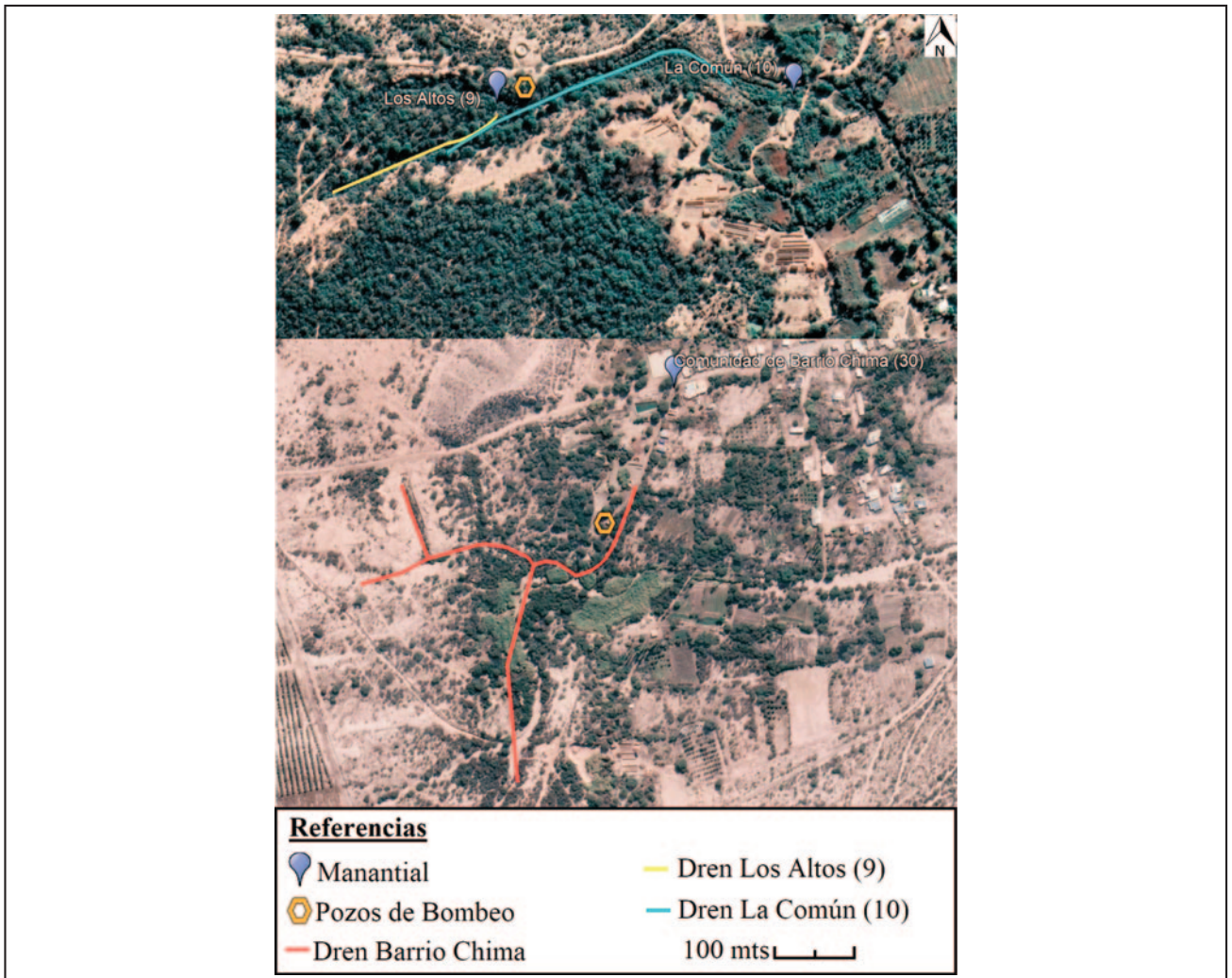


Figura 10. Ubicación de los sitios muestreados próximos a los pozos para abastecimiento de agua de consumo humano. a) Los Altos (N° 9) b) Comunidad de Barrio Chima (N° 30).

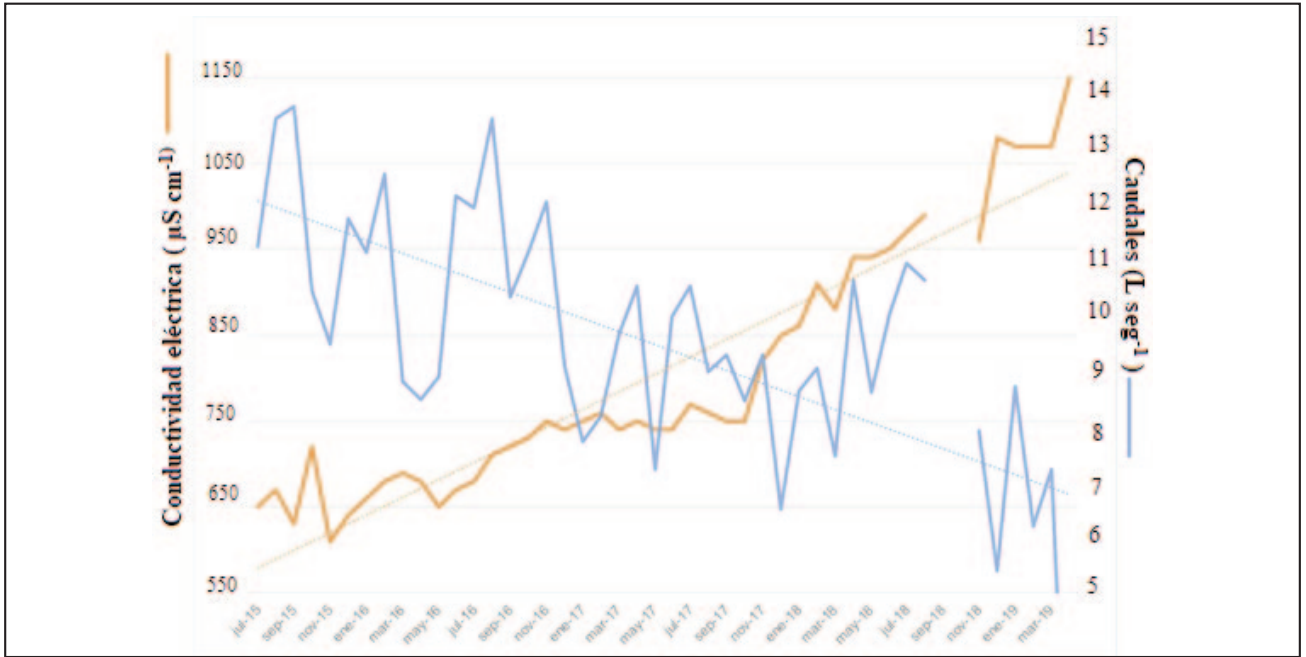


Figura 11. Caudal (L seg⁻¹) y conductividad eléctrica (μS cm⁻¹) 2015-2019.

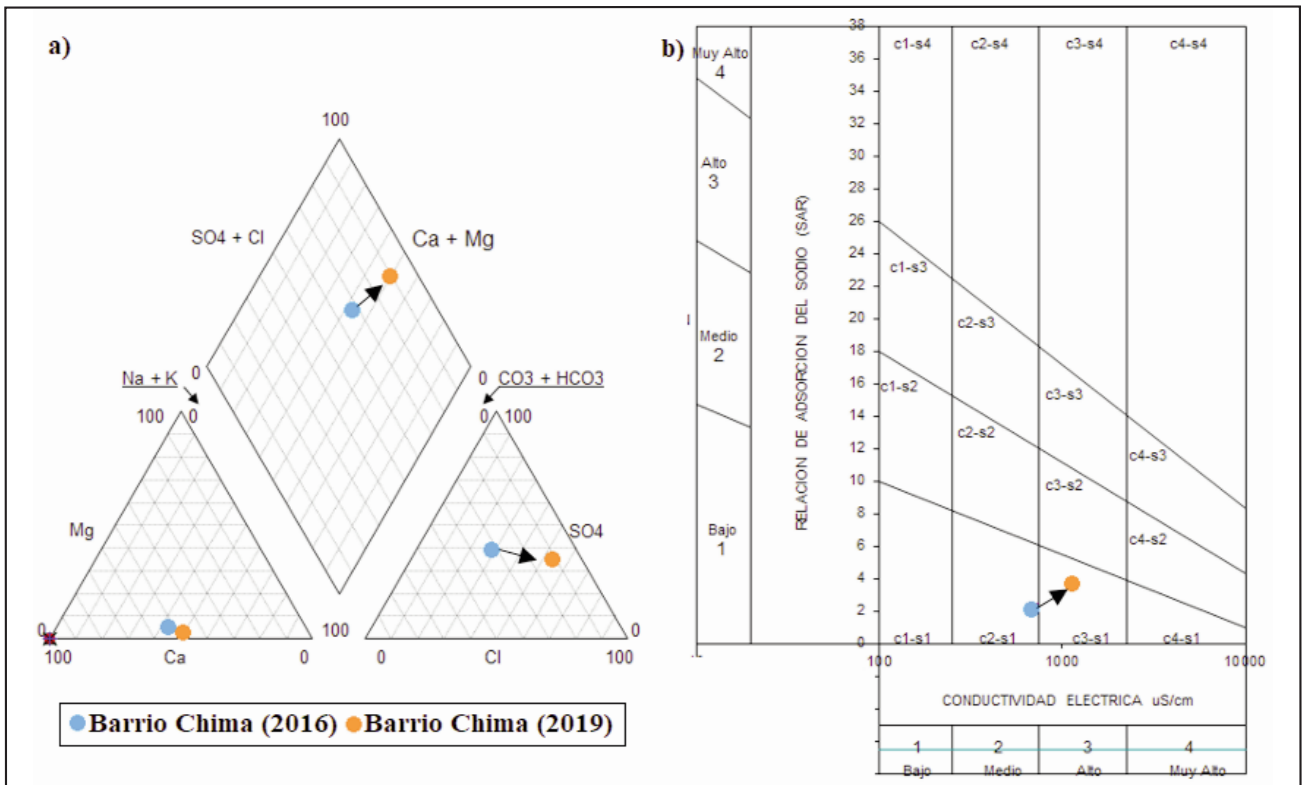


Figura 12. Evolución de agua del manantial del Barrio Chima en periodo Abril 2016- Abril 2019; a) Diagrama de Piper, b) Diagrama Riverside.

CONSIDERACIONES FINALES

La presente investigación desarrolló una aproximación inicial de la situación actual del recurso hídrico subterráneo y su evolución temporal en relación a estudios previos, estableciéndose una disminución de los caudales erogados por manantiales en un 47 % con respecto al dato antecedente y el abandono y agotamiento del 50% de los manantiales. La falta de disponibilidad

del recurso subterráneo limita ampliamente la producción en el Distrito de Vichigasta, siendo necesario destacar que dicha problemática no tendría sus orígenes en el volumen de agua que recarga el área. Esta situación se encuentra agravada hacia el Suroeste de la localidad (Barrio Chima) con la degradación de la calidad del agua. El desarrollo de un emprendimiento agroproductivo aguas arriba del manantial de Barrio Chima

permitiría inferir que esta degradación en la calidad podría estar asociada a retornos de riego y la extracción de agua mediante pozos de bombeo.

Para un análisis de mayor rigurosidad respecto a la situación advertida, es necesario profundizar el estudio hidrodinámico aguas arriba de los manantiales de falla, junto con el seguimiento y análisis de la evolución de los manantiales mediante la prosecución de estudios químicos en el tiempo y estudios isotópicos que permitan dilucidar con mayor rigurosidad científica los procesos de salinización observados y sus orígenes.

El Distrito de Vichigasta presenta una estructura hidrogeológica particular que ha sido escasamente estudiada y por tal motivo los manantiales corren el peligro de ser afectados por el establecimiento de pozos de bombeo aguas arriba y en sus inmediaciones, zona identificada como de reserva acuífera por la Ley Provincial 8790. No obstante, se concluye que cualquier acción que capte el recurso hídrico agua arriba del área de falla impactará directamente sobre la cantidad y calidad de agua subterránea erogada por los manantiales comprometiendo al sistema ambiental.

Resulta necesario que las autoridades locales encargadas de la gestión del recurso hídrico junto con las autoridades de agua y ambiente de la Provincia de La Rioja en colaboración con productores, otras instituciones de gobierno y de ciencia y

tecnología, aborden esta problemática profundizando en estudios de detalle para conocer las dimensiones del sistema, su hidrodinámica y el volumen de reserva. De esta manera se establecerá en su real dimensión, la potencialidad del recurso, que permitirá elaborar un conjunto de pautas de manejo tendentes al desarrollo de una gestión integral del recurso hídrico.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Sr. Vicente Ormeño, Presidente de la Unión Vecinal de Agua Potable de Vichigasta por su valiosa colaboración en campo y el reconocimiento de manantiales citados en bibliografía antecedente. A la Dra. Sonia Silvente, Directora del Laboratorio de Alta Complejidad de la Universidad Nacional de Chilecito por el desarrollo de análisis de laboratorio. A los Proyectos Institucionales del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Proyecto Estructural 041 de "Gestión Integrada de Recursos Hídricos en Cuencas del Sistema Agroalimentario Argentino" y al Proyecto Disciplinar 506 "Humedales de la Argentina: distribución, usos y recomendaciones coparticipativas para una producción sustentable". A la Facultad de Ciencias Humanas de la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires y a INTA Estación Experimental Agropecuaria Chilecito por las gestiones que posibilitaron la Comisión de Estudios que permitió el desarrollo de este documento y la tesis de grado en Lic. en Diagnóstico y Gestión Ambiental.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA. (2012). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22nd Edition. Washington, USA. American Public Health Association.
- AUGE, M. P., WETTEN, C., BAUDINO, G., BONORINO, A. G., GIANNI, R., GONZÁLEZ, N Y TINEO, A. (2006). Hidrogeología de Argentina. *Boletín Geológico y Minero*, 117 (1): 7-23.
- AZCUY, C. L., ANDREIS, R. R., CUERDA, A., HÜNICKEN, M. A., PENSA, M. V., VALENCIO, D. A., Y LEGUIZAMÓN, R. R. (1987). Cuenca Paganzo. *En Archangelsky, S. (ed.). El Sistema Carbonífero en la República Argentina. (42-132) Córdoba, Argentina. Academia Nacional de Ciencias.*
- CANDIANI, J.C., ASTINI R., DÁVILA, F., COLLO G., EZPELETA M., ALASINO, P., DAHLQUIST, J., Y CARRIZO R. (2011). Hojas Geológicas 2969-18 Famatina y 2969-24 Sañogasta. *Servicio Geológico Minero Argentino. Buenos Aires, Argentina: Instituto de Geología y Recursos Minerales.*
- CÓDIGO ALIMENTARIO ARGENTINO (2012). Capítulo XII: Bebida hídricas, agua y agua gasificada. *Ley 18.284. Argentina.*
- CONHIDRO S.R.L. (2017). Informe Técnico Pozo N°2 Campo 3. Vichigasta. Departamento Chilecito Provincia de La Rioja. *Septiembre 2017. 10 pp.*
- COSTA, M. C. Y MINETTI, J. L. (2001). El agua: una limitante de la agricultura en La Rioja. *Jornadas de Avances en la producción vegetal del NOA (1998-2001). San Miguel de Tucumán, Argentina. 146-152*
- CUBILÓ, M. E., LÓPEZ, T., CANO, R., Y RECCHIONI, L. (2015). La agricultura campesina y empresarial en el Valle Antinaco—Los Colorados de la Provincia de La Rioja. *Abordajes (La Rioja). Revista de Ciencias Sociales y Humanas*, 3(5): 19-37.
- GRUPO DE HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA- GHS. (2002). EASYQuim 4.0. Departamento de Ingeniería del Terreno de la Universidad Politécnica de Catalunya. *Disponibile en: <https://h2ogeo.upc.edu/es/software-hidrologia-subterranea/11-software-hidrologia-subterranea/42-easy-quim> último acceso 27 de Mayo de 2021.*

- GARCÍA PERÓN, E. (1979).
Consideraciones hidroquímicas y evolución salina de la cuenca Antinaco Los Colorados, Provincia de La Rioja.
San Juan, Argentina: Instituto Nacional del Agua, Centro Regional de Aguas Subterráneas - INA CRAS, P-223. p 18.
- HERNÁNDEZ-QUESADA, P., CABRERA, M.C., Y CUSTODIO, E. (2011).
Características y evolución de los nacientes en las cuencas de los barrancos de Azuaje y Moya, norte de Gran Canaria.
En: Cabrera, M.C., Custodio, J. Jiménez y E. (Eds). El Conocimiento de los Recursos Hídricos en Canarias: Cuatro Décadas después del Proyecto SPA-15. Asociación Internacional de Hidrogeólogos-Grupo Español, Las Palmas de Gran Canaria, 73-79.
- MIGUEL, R.E., TÁLAMO, E., CRISTOS, D.S., GONZALEZ RIBOT, J.V., Y 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.
Actas del IX Congreso Argentino de Hidrogeología 2016. Calidad de Agua Subterránea, 304-311.
- MIGUEL, R.E., GONZÁLEZ, J.V., VUKSINIC, E., Y AGÜERO ALCARAS, L.M. (2018).
Evolución de las vertientes para uso de riego comunal en Vichigasta, La Rioja.
I Jornadas Internacionales de Ambiente y IV Jornadas Nacionales de Ambiente 2018: Libro de resúmenes extendidos. Tandil: Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. 473-476.
- MOYANO, R. (2011).
“Sin agua, no hay vida”.
Diario Chilecito. Edición digital de 4 de Noviembre de 2011. Disponible en: <http://www.diariochilecito.com.ar/articulo/14159.html> último acceso 27 de Mayo de 2021.
- POBLETE, M.A. Y GUIMARAES, R.E. (2006).
Evaluación hidrogeológica de los acuíferos explotados en la cuenca Antinaco-Los Colorados. San Juan, Argentina:
Instituto Nacional del Agua, Centro Regional de Aguas Subterráneas - INA CRAS. p 28.
- ROCCA, J.A., ORTÍZ, A., ZAMBRANO, J., TABALLIONE, C., TORRES, 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.
San Juan, Argentina,
Instituto Nacional del Agua, Centro Regional de Aguas Subterráneas - INA CRAS. p 350.
- ROSA, H. (2000).
Vegetación de la Rioja. Catálogo de Recursos humanos e información relacionada con la temática ambiental en la región andina argentina.
Disponible en: <https://www.mendoza-conicet.gob.ar/ladyot/catalogo/cdandes/cap20.htm> último acceso 27 de Mayo de 2021.
- SOSIC, M. (1971).
Descripción hidrogeológica del Valle de Antinaco-Los Colorados, Provincia de La Rioja. Buenos Aires, Argentina:
Ministerio de Industria, Comercio y Minería, Subsecretaría de Minería, Dirección Nacional de Geología y Minería.
- SPRINGER, A.E., Y STEVENS, L.E. (2009).
Spheres of discharge of springs.
Hydrogeology Journal, 17: 83-93.
- VICTORIA, J. (1962).
Capítulo 4: Provincia geológica de los bolsones de los llanos occidentales.
En Victoria, J. (Ed), Evaluación de los recursos naturales de la Argentina, Recursos Hidráulicos Subterráneos (pp. 55-73). Buenos Aires, Argentina: Editorial CFI Consejo Federal de Inversiones.