



FACULTAD DE CIENCIAS
EXACTAS Y NATURALES

Universidad Nacional de La Pampa

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales

Secretaría de Investigación Postgrado y Extensión

Maestría en Recursos Hídricos

Tesis de Maestría en Recursos Hídricos

Para la obtención del título de

Magíster en Recursos Hídricos

IMPLICANCIA DEL USO AGRÍCOLA DEL RECURSO HÍDRICO

SUBTERRÁNEO EN TILIMUQUI, MALLIGASTA Y ANGUINÁN.

DEPARTAMENTO CHILECITO, PROVINCIA DE LA RIOJA,

ARGENTINA



Autor: Ing. Agr. Joaquín Víctor González Ribot

Director: Dr. Lic. Roberto Esteban Miguel

Co- Director: Dr. Rodolfo Fernando García Maurizzio

Santa Rosa, La Pampa, 30 de noviembre de 2022

*Dedico este trabajo a mí esposa Cecilia y a nuestros hijos Agustina y Joaquín por acompañarme y darme fuerzas, siendo la alegría de mi vida.
A mis Padres Antonia y Walter por alentarme y acompañarme siempre.*

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco a Dios por todas las personas que pone en mi camino día a día y me enseñan a vivir y disfrutar del hermoso regalo de la vida.

A mí esposa Cecilia y a nuestros hijos Agustina y Joaquín por brindarme tanto amor formando una familia, siendo la alegría de mi vida, dándome fuerzas y acompañándome minuto a minuto con el desafío de la investigación.

A mis padres Antonia y Walter por ser mis primeros maestros brindándome amor, alegría, respeto, comprensión y entrega, enseñándome a trabajar para poder cumplir los objetivos de la vida y ser la persona que soy ahora.

A mi director, amigo y compañero de trabajo el Dr. Lic. Roberto Esteban Miguel por su confianza, consejos, predisposición y acompañamiento para realizar la investigación.

A mi codirector, el Dr. Rodolfo Fernando García Maurizzio por la confianza, predisposición y los aportes a la investigación.

A todos los docentes de la Maestría en Recursos Hídricos de la Universidad Nacional de La Pampa por formarme en los años de cursos.

Agradecer a los productores de las colonias de Tilimuqui, Malligasta y Anguinán, por su colaboración respondiendo las encuestas y permitiendo el ingreso a sus fincas para poder realizar las mediciones, ya que sin su aporte no se podría haber realizado la investigación.

PE041 Gestión Integrada de Recursos Hídricos en Cuencas del Sistema Agroalimentario Argentino bajo la Coordinación del Dr. Marino Puricelli, Proyecto “Cuencas Rurales” de la cartera 2013-2017 coordinado por la Ing. Mabel Amarilla en el Marco del Programa Nacional de Agua Coordinado por el Dr. Daniel Prieto Garra.

A la Dirección de la Estación Experimental Agropecuaria Chilecito, Ing. José Luís Ladux y a mis compañeros de la EEA INTA Chilecito, en especial a mi amiga Evelyn Vuksinic por su continuo apoyo.

RESUMEN

La Cuenca Antinaco - Los Colorados, Provincia de La Rioja, dónde se encuentran las colonias agrícolas de Tilimuqui, Malligasta y Anguinán, es una de las regiones productivas agrícolas más importantes del Noroeste Argentino (NOA). En los años 1960 comenzaron a realizarse pozos de captación de agua subterránea para incrementar la superficie bajo riego, debido a que, tradicionalmente, se utilizaba agua superficial que resultaba insuficiente para el crecimiento de la actividad agrícola. Si bien el agua subterránea es una alternativa válida cuando el recurso hídrico superficial es limitado, si se extrae más agua de la que ingresa naturalmente al sistema acuífero, los niveles piezométricos pueden descender, con la consecuente reducción de la reserva. El objetivo de este trabajo fue analizar la evolución hidrodinámica e hidroquímica del sistema acuífero explotado para uso agrícola en las colonias de Tilimuqui, Malligasta y Anguinán durante los años 2015 - 2016 - 2017 y compararlos con datos antecedentes disponibles de estudios realizados por otros autores en los años 1975 y 2006. En este trabajo se confeccionaron mapas de isopiezas, utilizando un software SIG, para observar la distribución potenciométrica y líneas de flujo; observándose notables cambios en la configuración de las isopiezas, si se los compara con los estudios antecedentes. Para el estudio hidroquímico se tomaron muestras de aguas subterráneas determinándose parámetros de campo (pH, temperatura, conductividad eléctrica, entre otros), y análisis en laboratorio de elementos y compuestos mayoritarios (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} y NO_3^-). No se detectó una modificación de la evolución geoquímica de las aguas a lo largo del periodo estudiado (2015-2017), comparado con los datos antecedentes. En adición, se realizaron encuestas a productores de las colonias para determinar el porcentaje de incremento en el número de pozos realizados, la superficie cultivada en el período en estudio y los volúmenes de agua extraída. Posteriormente, se estimó que, en el área de estudio, el volumen de agua subterránea extraído fue de aproximadamente $70,6 \text{ hm}^3/\text{año}$. Poblete y Guimaraes (2006), señalan una tasa de descenso medio del nivel piezométrico de $0,33 \text{ m/año}$, ocasionando una pérdida de reserva de unos $4,09 \text{ hm}^3/\text{año}$. En los periodos 2015-2016 y 2016-2017, los descensos medios de niveles piezométricos se encuentran en el orden de $0,42 \text{ m/año}$ y $0,58 \text{ m/año}$, respectivamente, lo que significaría una pérdida de reservas de $9,96 \text{ hm}^3/\text{año}$. Este notable incremento podría responder a la mayor extracción del recurso hídrico subterráneo, como consecuencia del incremento de la superficie cultivada y mayor demanda de agua. Si se analiza el período comprendido entre los años 1973-2017, las pérdidas totales de reservas en la zona de estudio fueron de unos $251,5 \text{ hm}^3$, el equivalente a $5,72 \text{ hm}^3/\text{año}$. Si bien no se cuenta con suficientes datos del funcionamiento del sistema acuífero, se considera que el descenso regional de los niveles piezométricos podría responder a una explotación intensiva, a la disminución natural de la recarga o a una combinación de ambas situaciones.

Abstract

The Antinaco- Los Colorados basin, Province of La Rioja, where the agricultural colonies of Tilimuqui, Malligasta and Anguinan are located, it is one of the most agricultural productive regions of the Argentine Northwest. In the 1960' groundwater wells began to be built to develop the area under irrigation because the surface water was insufficient to increase agricultural activity. Although groundwater is a valid alternative when the surface water resource is scarce, if more water is extracted than naturally recharge to the aquifer system, the piezometric levels can dropen, with the consequent reserve depletion. The aim of this research was to analyze the hydrodynamic and hydrochemical evolution of the aquifer system exploited for agricultural use in the colonies of Tilimuqui, Malligasta and Anguinan during the years 2015, 2016, 2017 and compare them with existing background data in studies carried out by others authors in the years 1975 and 2006., Maps of isopieces were made, using GIS software to observe the potentiometric distribution and flow lines; notable changes are observed in the configuration of the isopieces if compared with the previous studies carried out. Groundwater samples were collected to analyze field parameters (pH, temperature, electrical conductivity ad others) and major element and compounds in laboratory (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} y NO_3^{2-}). No geochemical evolution of the water was detected throughout the period studied (2015-2017), compared to the background data. In addition, surveys were conducted to producers to determine the percentage increase in the number of wells, the cultivated area in the period under study and the volumes groundwater extracted. Subsequently, it was estimated that, in the study area, the volume of groundwater extracted was approximately $70.6 \text{ hm}^3/\text{year}$. Poblete and Guimaraes (2006), indicate an average rate of decrease of the piezometric level of 0.33 m/year , causing a loss of reserve of about $4.09 \text{ hm}^3/\text{year}$. In the periods 2015-2016 and 2016-2017, the average drops in piezometric levels area in the order of 0.42 m/year and 0.58 m/year , respectively, which would mean a loss of reserves of $9.96 \text{ hm}^3/\text{year}$. This notable increase could respond to the greater extraction of underground water resourses, as a consequence of the increase in the cultivated area and greater demand for water. If the period between the years 1973-2017 is analyzed, the total loss of reserves in the study area was about 251.5 hm^3 the equivalent of $5.72 \text{ hm}^3/\text{year}$. Although there are not enough data on the aquifer system, it is considered that the regional declining of the piezometric levels could respond to intensive exploitation, to the natural decrease in recharge, or to a combination of both situations.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|--|-----------|
| CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1 FUNDAMENTACIÓN | 1 |
| 1.2 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN | 2 |
| 1.3 HIPÓTESIS | 2 |
| 1.4 OBJETIVO GENERAL | 2 |
| 1.5 OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 2 |
| CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO, POLÍTICO, LEGAL Y ADMINISTRATIVO | 3 |
| 2.1 MARCO TEÓRICO | 3 |
| 2.1.1. Ciclo Hidrológico | 3 |
| 2.1.2. Agua Subterránea | 4 |
| 2.2. MARCO POLÍTICO, LEGAL Y ADMINISTRATIVO | 17 |
| 2.2.1. Internacional | 17 |
| 2.2.2. Nacional | 17 |
| 2.2.3. Provincial | 19 |
| CAPÍTULO 3: ÁREA DE ESTUDIO y ANTECEDENTES | 22 |
| 3.1 ÁREA DE ESTUDIO | 22 |
| 3.1.1. Modelo Conceptual de Funcionamiento del Sistema Hídrico Subterráneo | 26 |
| 3.1.2. Colonias Agrícolas Tilimuqui, Malligasta y Anguinán | 27 |
| 3.1.3. Superficie Cultivada en Tilimuqui, Malligasta y Anguinán | 27 |
| 3.2. ANTECEDENTES HIDROGEOLÓGICOS | 29 |
| CAPÍTULO 4: MATERIALES y MÉTODOS | 30 |
| CAPÍTULO 5: RESULTADOS | 38 |
| 5.1 HIDRODINÁMICA | 38 |
| 5.1.1. Niveles Estáticos | 38 |
| 5.1.2. Análisis del Pozo 2 | 41 |
| 5.1.3. Mapas de Isopiezas y Líneas de Flujo | 41 |
| 5.1.4. Mapas de Isoprofundidad de Agua Subterránea | 45 |
| 5.2 HIDROQUÍMICA | 49 |
| 5.2.1. Comparación de Iones Mayoritarios con Datos Antecedentes | 49 |
| 5.2.2. Diagramas Piper | 50 |
| 5.2.3. Clasificación del Agua Para Riego | 51 |
| 5.3 UTILIZACIÓN DEL RECURSO HÍDRICO | 53 |
| 5.3.1. Pozos en Tilimuqui, Malligasta y Anguinán | 53 |
| 5.3.2. Superficie Cultivada | 54 |
| 5.3.3. Encuestas a Productores del Área de Estudio | 56 |
| 5.4 PÉRDIDA DE RESERVA DE AGUA SUBTERRÁNEA | 61 |
| 5.4.1. Disminución de Espesor Saturado | 61 |
| 5.4.2. Mapa de Coeficiente de Almacenamiento | 65 |
| 5.4.3. Pérdidas de Reservas | 66 |
| CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES y COMENTARIOS FINALES | 67 |
| 6.1. CONCLUSIONES | 67 |
| 6.2. RECOMENDACIONES Y COMENTARIOS FINALES | 68 |

| | |
|----------------------------|-----------|
| 6.2.1. Recomendaciones | 68 |
| 6.2.2. Comentarios Finales | 68 |
| BIBLIOGRAFÍA | 69 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 2.1: Ciclo hidrológico del agua (www.usgs.gov, 2015) | 4 |
| Figura 2.2: Tipología de acuíferos. Fuente: Hispanagua (2021) | 6 |
| Figura 2.3: Concepto gráfico de la permeabilidad darciana (García, 2015). | 7 |
| Figura 2.4: Concepto gráfico de la transmisividad (García, 2015). | 8 |
| Figura 2.5: Representación gráfica del concepto de coeficiente de almacenamiento en un acuífero libre (García, 2015). | 8 |
| Figura 2.6: Líneas de flujo y equipotenciales (García Maurizzio, 2013). | 10 |
| Figura 2.7: Líneas de flujo y equipotenciales (García Maurizzio, 2013). | 10 |
| Figura 2.8: Diagrama para clasificar las aguas de riego según Richards (1954). | 13 |
| Figura 3.1. Posición relativa del Área de estudio. Fuente: Elaboración propia. | 22 |
| Figura 3.2. Área de estudio Fuente: Imagen 59-Sentinel-2-L2A. Fecha: 25/04/22. | 23 |
| Figura 3.3. Cuenca Antinaco – Los Colorados. Los perfiles se generan usando google Pro. | 24 |
| Figura 3.4: Corte topográfico cuenca Antinaco – Los Colorados. Los perfiles se generan usando google Pro. | 25 |
| Figura 4.1: Localización de los pozos donde se realizaron las mediciones. Fuente: Imagen Sentinel 2 combinación de bandas 8-4-3. Fecha: 15/02/17. | 30 |
| Figura 4.2: Sonda Piezométrica utilizada para mediciones de niveles. | 36 |
| Figura 5.1: Variaciones del nivel piezométrico en el Pozo 2 del INTA EEA, Chilecito | 41 |
| Figura 5.2: Isopiezas correspondientes al año 1973. Elaboración sobre la base de datos de Rocca et al. (1975). | 43 |
| Figura 5.3: Isopiezas correspondiente al año 2005. Elaboración sobre la base de datos de Poblete y Guimaraes, (2006). | 44 |
| Figura 5.4: Isopiezas correspondiente al año 2017. | 45 |
| Figura 5.5: Mapa de igual profundidad de agua subterránea para el año 1973. Elaboración sobre la base de datos de Rocca et al. (1975). | 46 |
| Figura 5.6: Mapa de igual profundidad de agua subterránea para el año 2005. Elaboración sobre la base de datos de Poblete y Guimaraes (2006). | 47 |
| Figura 5.7: Mapa de igual profundidad de agua subterránea para el año 2017. | 48 |
| Figura 5.8: Diagramas Piper de muestras para los años 2015, 2016 y 2017. | 50 |
| Figura 5.9: Diagramas de calidad de agua para riego para muestras obtenidas en los años 2015, 2016 y 2017. | 52 |
| Figura 5.10: Superficies cultivadas en los años 1985 (izquierda), 2005 (centro) y 2015 (derecha). | 54 |
| Figura 5.11: Superficies totales y cultivadas de cada emprendimiento agrícola. | 55 |
| Figura 5.12: Superficie cultivada en Tilimuqui (Google Earth Pro. Fecha: 16/03/17). | 55 |
| Figura 5.13: Superficie cultivada en colonia Malligasta (izquierda) y Anguinán (derecha). (Google Earth Pro. Fecha: 16/03/17). | 56 |
| Figura 5.14: Isolíneas de disminución del espesor saturado entre los años 1973-2005. | 61 |
| Figura 5.15: Isolíneas de disminución del espesor saturado entre los años 2005-2017. | 62 |
| Figura 5.16: Isolíneas de disminución del espesor saturado para los años 1973-2017. | 63 |
| Figura 5.17: Líneas de igual valor de coeficiente de almacenamiento. Elaborado en base a datos de Rocca et al. (1975) y García et al. (2016). | 65 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 2.1: Valores de coeficiente de almacenamiento (Sánchez San Román, 2013). | 9 |
| Tabla 2.2: Clasificación de las aguas según normas Riverside. | 14 |
| Tabla 2.3: Niveles guías de algunas sustancias biológicas y químicas presentes en el agua (CAA). | 18 |
| Tabla 3.1: Variación de la superficie cultivada en el período 2004 y 2014. | 27 |
| Tabla 4.1: Coordenadas planas POSGAR 98 Faja 2 y fotografías de los pozos relevados. | 31 |
| Tabla 4.2: Analitos, métodos y metodologías aplicadas. | 37 |
| Tabla 5.1: Niveles estáticos medidos en pozos durante este trabajo (2015 a 2017). | 38 |
| Tabla 5.2: Niveles estáticos y variación del espesor saturado. | 39 |
| Tabla 5.3: Comparación de niveles estáticos y variaciones de espesor saturado. | 40 |
| Tabla 5.4: Resultados de determinaciones y analitos de los años 2005, 2015, 2016 y 2017. | 49 |
| Tabla 5.5: Pozos en los distritos de Tilimuqui, Malligasta y Anguinán en el año 2005. | 53 |
| Tabla 5.6: Pozos en los distritos de Tilimuqui, Malligasta y Anguinán en el año 2005 y 2014 | 53 |
| Tabla 5.7: Superficie cultivada de las colonias en estudio en el año 2017. | 56 |
| Tabla 5.8: Superficie cultivada en hectáreas – Encuestas a productores. | 56 |
| Tabla 5.9: Sistemas de riego | 57 |
| Tabla 5.10: Distribución de riego por goteo en los diferentes cultivos y colonias. | 57 |
| Tabla 5.11: Distribución de riego por gravedad en los diferentes cultivos y colonias. | 58 |
| Tabla 5.12: Pozos relevados. | 58 |
| Tabla 5.13: Pozos en funcionamiento y caudales promedios extraídos. | 58 |
| Tabla 5.14: Datos potenciales de caudales que se podrían extraer. | 59 |
| Tabla 5.15: Descensos medios anuales para los diferentes periodos estudiados. | 63 |
| Tabla 5.16: Pérdida de reservas en hm^3 calculados con diferentes valores de coeficientes de almacenamiento. | 66 |

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1 FUNDAMENTACIÓN

La Rioja es la provincia más árida del país y con menor disponibilidad de agua superficial (Victoria, 1962). Particularmente el Valle Central Antinaco - Los Colorados, que se extiende en los departamentos Famatina, Chilecito e Independencia, presenta un clima de tipo árido, seco, con temperaturas máximas medias en el mes más cálido de 34°C y mínimas de 19°C, y en el mes más frío registra máxima media de 18°C y mínima media de 2°C, con dos épocas claramente diferenciadas, la estival lluviosa (precipitación media de 43,9 milímetros (mm) para el mes más húmedo) y la invernal seca (precipitación media 1 mm para el mes más seco) Servicio Meteorológico Nacional (SMN 1988-2010). La precipitación en el valle es variable con un gradiente Oeste-Este, hacia las cumbres de las sierras de Famatina las precipitaciones medias anuales superan los 300 mm, en el centro del valle son inferiores a 100 mm (Bianchi et al. 2006) y hacia las sierras del Velasco la información es escasa, aunque de acuerdo a datos aportados por los consorcios de riego serían inferior a 50 mm. Según Costa y Minetti (2001), la evapotranspiración potencial media anual en la localidad de Chilecito es de 1.193 mm y la precipitación media anual de 192 mm con variaciones entre 57,4 mm (año seco) y 325,5 mm (año húmedo) lo que determina un déficit hídrico a lo largo de todo el año.

A fines de la década de los 60 y a inicios de la década de los 70, con la inauguración del Plan de Colonización del Gobierno de La Rioja (Peña, 1969), se comenzó con el desarrollo de una serie de colonias agrícolas. Este plan amplió notablemente la superficie cultivada, que para el año 1969 alcanzaban las 665 hectáreas en los pueblos de Tilimuqui, Malligasta y Anguinán comprendido por el minifundio que utilizaba, exclusivamente, el agua superficial del río Los Sarmientos, para el riego de plantaciones. Debido a que el recurso hídrico superficial no podía atender la demanda, por los exiguos caudales disponibles; el desarrollo y expansión de las colonias agrícolas fue posible debido a la explotación de agua subterránea, mediante un plan de perforación y construcción de pozos (uno cada 50 hectáreas) que permitió el desarrollo de 1.684 hectáreas. Los nuevos pozos construidos posibilitaron la toma de datos y el desarrollo del estudio efectuado por Rocca et al. en 1973 y publicado en 1975 por el Centro Regional de Aguas Subterráneas del Instituto Nacional del Agua (CRAS-INA). Este documento es el primer análisis hidrodinámico en todo el Valle Central Antinaco – Los Colorados. En la década de los 90, se produjo un nuevo incremento de la superficie cultivada con montes frutales, principalmente olivos y viñedos, impulsada por la promulgación de la Ley Nacional 22.021 de Diferimientos Impositivos. Luego, una situación similar, ocurrió en el año 2006 cuando la provincia de La Rioja impulsó la creación de empresas SAPEM (Sociedades Anónimas con Porcentaje Mayoritario de Estado), con la instalación de numerosos proyectos agropecuarios (vid, olivos y hortalizas).

El estudio realizado por Poblete y Guimaraes en el año 2005 y publicado en el año 2006 por el CRAS-INA, evalúa la situación del recurso hídrico subterráneo y advierte que los niveles piezométricos se profundizaron de manera constante desde el año 1973 al 2005, con cambios en la dirección de flujo de agua subterránea en áreas intensamente bombeadas e indicios de salinización en algunos pozos. En este sentido, concluye que las extracciones superan a la recarga y que por lo tanto la explotación se encuentra por encima de los niveles estrictamente sustentables.

La información generada a partir de esta tesis, permitirá conocer la evolución hidrodinámica e hidroquímica del recurso hídrico subterráneo en el área de Tilimuqui, Malligasta y Anguinán, información de relevancia para la generación de medidas que tiendan a su protección y uso racional por parte de productores agrícolas y la Secretaría del Agua, como ente responsable de su administración.

1.2 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿De qué manera el uso para riego del agua subterránea incide en la evolución del recurso hídrico subterráneo en Tilimuqui, Malligasta y Anguinán?

1.3 HIPÓTESIS

El uso agrícola de agua subterránea en Tilimuqui, Malligasta y Anguinán genera alteraciones hidrodinámicas –con pérdida de reservas– e hidroquímica –aumento de la salinidad– asociada a un proceso de explotación intensiva del recurso hídrico subterráneo.

1.4 OBJETIVO GENERAL

Analizar la evolución hidrodinámica e hidroquímica del sistema acuífero explotado para uso agrícola en las colonias de Tilimuqui, Malligasta y Anguinán en los años 2015, 2016, 2017 y compararlos con los datos de estudios antecedentes realizados por los autores Rocca et al. (1975) y Poblete y Guimaraes (2006).

1.5 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Objetivo específico 1: Determinar la hidrodinámica e hidroquímica del recurso hídrico subterráneo en las colonias agrícolas de Tilimuqui, Malligasta y Anguinán, y su evolución respecto a estudios antecedentes.

Objetivo específico 2: Relacionar el total de pozos existentes, con los caudales extraídos, la superficie cultivada y el sistema de riego en las colonias agrícolas de Tilimuqui, Malligasta y Anguinán.

Objetivo específico 3: Cuantificar la disminución de reserva de agua subterránea por explotación agropecuaria en las colonias agrícolas de Tilimuqui, Malligasta y Anguinán, entre los periodos 1973 – 2005, 2005 – 2017 y 1973 – 2017.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO, POLÍTICO, LEGAL Y ADMINISTRATIVO

2.1 MARCO TEÓRICO

Como señala García Maurizzio (2013), al realizar un estudio hidrogeológico, se encuentra un campo muy amplio de investigación ya que la Hidrogeología es una ciencia que utiliza una gran cantidad de información proveniente de otras disciplinas. Por abarcar un espectro tan amplio de especialidades, la mayoría de los datos que se integran para comprender y evaluar los procesos hidrogeológicos son, normalmente, insuficientes y difíciles de valorar, puesto que en la generalidad de los casos ninguno de ellos fue obtenido planificadamente u orientado a la evaluación hidrogeológica. Si bien esta situación es especialmente cierta para las disciplinas conexas, también es una constante en los trabajos con fines hidrogeológicos que se han llevado a cabo en la zona de estudio, especialmente en lo referente a la perforación de pozos que, en definitiva, permiten estudiar a los reservorios de agua (acuíferos), tanto en sus aspectos hidráulicos como hidroquímicos.

Los estudios hidrogeológicos son de carácter iterativo, especialmente debido a dos razones (García Maurizzio, 2013):

El objeto de estudio (el agua subterránea) cambia muy rápidamente con el tiempo, en función de cambios climáticos recientes o actuales y sobre todo por la utilización intensiva del agua subterránea y por las modificaciones en su quimismo, introducidas por la acción antrópica.

A medida que se perforan más pozos se obtiene información complementaria que permite ajustar o modificar las hipótesis de trabajo y los modelos conceptuales.

2.1.1. Ciclo Hidrológico

El concepto de ciclo hidrológico involucra el movimiento o transferencia de las masas de agua desde un lugar a otro y desde un estado a otro. El movimiento permanente del ciclo se debe fundamentalmente al "sol" que proporciona la energía suficiente para elevar el agua del suelo o de un cuerpo de agua superficial, al evaporarla (Figura 2.1). Otro factor de importancia es la fuerza de la gravedad, que permite que el agua condensada precipite y que una vez caída sobre la superficie, escurra hacia las zonas más deprimidas (Custodio y Llamas, 1996 en García Maurizzio, 2013).

El ciclo del agua se inicia cuando una parte del vapor de agua de la atmósfera se condensa y se originan las precipitaciones en forma de lluvia o nieve. Se debe tener presente que no toda la lluvia alcanza la superficie de la tierra, ya que una parte se vuelve a evaporar inmediatamente durante su caída y otra es retenida o interceptada por la vegetación o por las superficies de edificios, carreteras, etc., y vuelve a la atmósfera en forma de vapor. De aquella agua que alcanza la superficie del terreno, una parte es retenida en pequeñas depresiones (charcos y aguadas) y en gran proporción retorna casi inmediatamente a la atmósfera por evaporación. Otra parte circula sobre la superficie y se concentra en pequeñas arroyadas y líneas de drenaje, que se reúnen en arroyos y luego en los ríos, constituyendo el agua de escurrimiento superficial, que tiene como destino final un lago o el mar, desde donde será evaporada o bien, se infiltrará en el terreno por donde circula.

Por último, hay una tercera parte de la precipitación que penetra bajo la superficie del terreno, conocida como infiltración, que se realiza a través de canales, fisuras y poros del suelo, a los que va llenando progresivamente. Un cierto volumen del agua infiltrada no desciende hasta la zona saturada o del agua subterránea propiamente dicha, sino que es retenida en los que se conoce como zona no saturada o zona de humedad del suelo, desde donde vuelve a la atmósfera por evaporación y transpiración de las plantas. Establecer la cantidad que corresponde a una u otra es tarea muy difícil, por lo que es común que siempre

se aplique el término de evapotranspiración para el conjunto del fenómeno (Fetter, 1988 en García Maurizzio, 2013).



Figura 2.1: Ciclo hidrológico del agua (www.usgs.gov, 2015)

El movimiento del agua a través de un terreno se caracteriza por su relativa lentitud y su origen se debe fundamentalmente a la acción gravitatoria. En la zona no saturada, existen otras fuerzas (especialmente la tensión superficial) que originan muchas veces la presencia de una faja más o menos continua llamada faja capilar, desde donde el agua puede retornar a la superficie a través de la evaporación, transpiración o ambos fenómenos a la vez. Otras veces el agua subterránea alimenta directamente a los cauces fluviales, origina manantiales, o entrega sus caudales directamente al mar.

Excepto en las cuencas endorreicas de las zonas áridas o semiáridas (como las existentes en la Puna Argentina), la mayor parte de las aguas del escurrimiento fluvial y subterráneo terminan, más tarde o más temprano en el mar, por lo que se debe considerar a los océanos como la fase final del ciclo hidrológico, ya que de ellos vuelve a evaporarse y se re - inicia nuevamente todo el proceso.

El ciclo hidrológico es un mecanismo en que una partícula de agua evaporada desde el océano vuelve a éste luego de pasar por las etapas de precipitación y escurrimiento fluvial y subterráneo, caracterizándose por que este movimiento puede tener una marcada irregularidad en el espacio y en el tiempo, además de las interrupciones que pueden suceder en cualquiera de las etapas del ciclo global (García Maurizzio, 2013).

2.1.2. Agua Subterránea

El agua subterránea es aquella parte del ciclo del agua que corresponde al almacenamiento, circulación y distribución de las aguas terrestres en la zona saturada de las formaciones geológicas, teniendo presente las propiedades físicas y químicas, sus interacciones con el medio físico y biológico y sus reacciones a la acción antrópica. Se considera agua subterránea a aquella que circula, movida por las fuerzas gravitatorias, a través de los poros o intersticios de las formaciones geológicas que conforman el subsuelo. Se define como medio de circulación del agua subterránea a aquellos cuerpos de roca que poseen intersticios (poros o fisuras), que permiten el movimiento del agua en el subsuelo (García Maurizzio, 2013).

Las formaciones geológicas que son capaces de almacenar y ceder el agua subterránea reciben el nombre de acuíferos (Figura 2.2).

Los acuíferos son unidades geológicas que almacenan y transmiten agua en cantidades económicamente explotables. Estos pueden encontrarse en diversos ambientes geológicos, en contacto directo con la atmósfera o bien, desconectados parcial o totalmente de ésta y, por lo tanto, sometidos a cargas hidráulicas muy distintas (García Maurizzio, 2013). Desde este punto de vista se pueden clasificar a los acuíferos en:

1. Acuíferos Libres, Freáticos o No Confinados
2. Acuíferos Confinados, Cautivos o Artesianos
3. Acuíferos Semiconfinados (Leaky aquifers)
4. Acuíferos Semilibres

Los acuíferos libres son aquellos en que el agua subterránea presenta una superficie libre, sujeta a la presión atmosférica como límite superior de la zona de saturación. Esta superficie libre se conoce como superficie freática y el nivel a que ella se eleva, respecto a otro de referencia, se llama nivel freático. Está formado en general por un estrato permeable parcialmente saturado en agua que yace sobre otro estrato impermeable o relativamente impermeable.

Los acuíferos confinados, son formaciones geológicas permeables, completamente saturadas de agua, confinadas entre dos capas o estratos impermeables o prácticamente impermeables (una inferior y otro superior). En estos acuíferos el agua está sometida, en general, a una presión mayor que la atmosférica y al perforar un pozo en ellos, el agua se eleva por encima de su parte superior (techo) del acuífero hasta un nivel que se denomina nivel piezométrico. La superficie imaginaria que representa la carga piezométrica en los distintos puntos del acuífero se conoce como superficie piezométrica. Se debe recordar en este punto que, tanto el sustrato como el techo impermeable presentan morfología y posición estables, mientras que la superficie piezométrica presenta variaciones de altitud y forma. En algunos casos, la superficie piezométrica puede estar por encima del terreno natural por lo que un pozo perforado en el lugar será surgente.

Los acuíferos semiconfinados, son formaciones geológicas completamente saturadas sometidos a presión que están limitados en su parte superior por una capa semipermeable (acuitardo) y en su parte inferior por una capa impermeable (acuífugo) o también por otro acuitardo. En este tipo de acuífero, la disminución de la carga piezométrica originada por el bombeo, por ejemplo, inducirá un flujo vertical del agua contenida en el acuitardo, que actuará como recarga del acuífero. Las características del acuitardo confinante en un acuífero semiconfinado son tales que puede ignorarse la componente horizontal del flujo del acuitardo.

Los acuíferos semilibres representan una situación intermedia entre un acuífero libre y uno semiconfinado. En este caso, la capa confinante superior es un estrato semipermeable o acuitardo, de características tales que su componente horizontal de flujo no puede ignorarse.

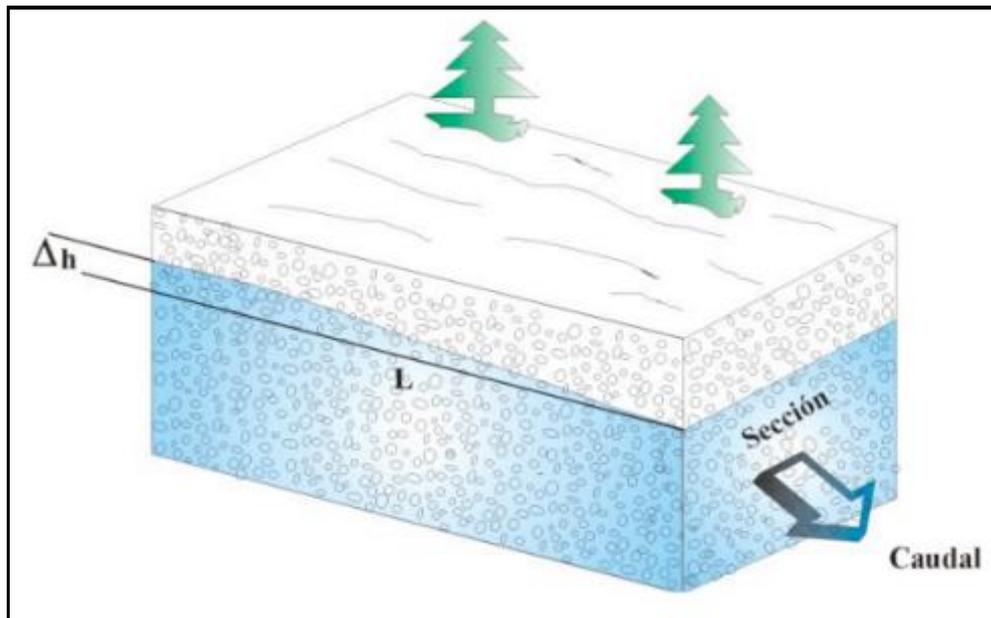


Figura 2.3: Concepto gráfico de la permeabilidad darciana (García, 2015).

2. Transmisividad

Este concepto fue introducido por Theis en 1938 y se define como el caudal que se filtra a través de una franja vertical de terreno, de ancho igual a la unidad y de altura igual al espesor permeable saturado, bajo un gradiente igual a la unidad y a una temperatura determinada. Theis interpretó que un acuífero que presenta una kD de 50 m/día y tiene un espesor de 5 metros, debería entregar el mismo caudal que un acuífero que tiene una kD de 25 m/día y 10 metros de espesor (Figura 2.4).

La ley de Darcy expresa:

$$Q = K_D \cdot i \cdot A$$

El área (A) perpendicular al flujo, puede expresarse como el producto de la extensión del acuífero (L) por el espesor permeable saturado (e), luego:

$$Q = K_D \cdot i \cdot L \cdot e$$

El producto $KD \cdot e$, se conoce como Transmisividad Darciana (TD):

$$T_D = K_D \cdot e$$

Por lo tanto, la Ley de Darcy puede expresarse:

$$Q = T_D \cdot i \cdot L \text{ o bien: } T_D = \frac{Q}{L \cdot i}$$

La Transmisividad, en consecuencia, se expresa en $m^2/\text{día}$ o cm^2/seg .

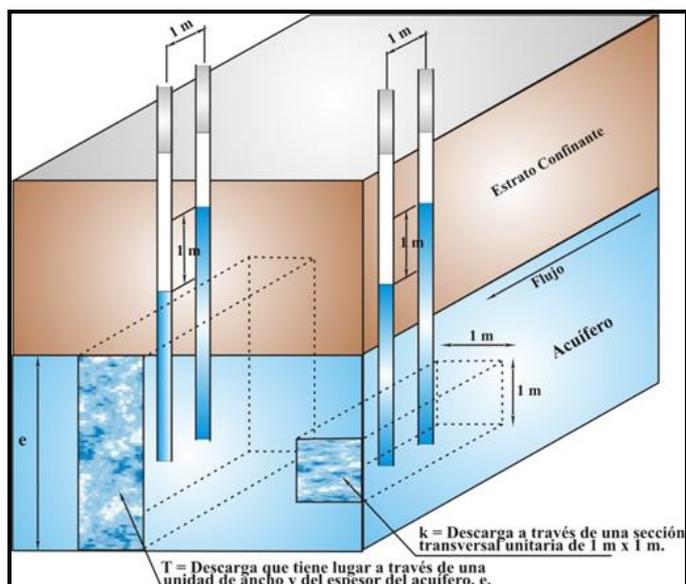


Figura 2.4: Concepto gráfico de la transmisividad (García, 2015).

3. Coeficiente de Almacenamiento

Se define como el volumen de agua que puede ser liberado por un prisma vertical de acuífero de sección igual a la unidad y de altura igual a la del acuífero saturado si se produce un descenso de una unidad del nivel piezométrico o carga hidráulica (Figura 2.5). El coeficiente de almacenamiento S , no tiene dimensión. De acuerdo a la definición, en los acuíferos libres, el coeficiente de almacenamiento es igual a la porosidad eficaz; ya que, si por ejemplo se considera 1 m^2 de acuífero libre y se hace descender 1 metro su superficie freática, el volumen de agua extraído será igual a la porosidad eficaz. En los acuíferos confinados o cautivos, el concepto no es tan simple ya que además entran en juego parámetros tales como los efectos mecánicos de compresión del terreno o de la propia agua. En un acuífero confinado, cuando proporciona agua, todos sus poros continúan llenos de agua (a diferencia de los poros de un acuífero libre que se vacían a medida que entrega el agua) y sólo disminuye la presión (García Maurizio, 2013).

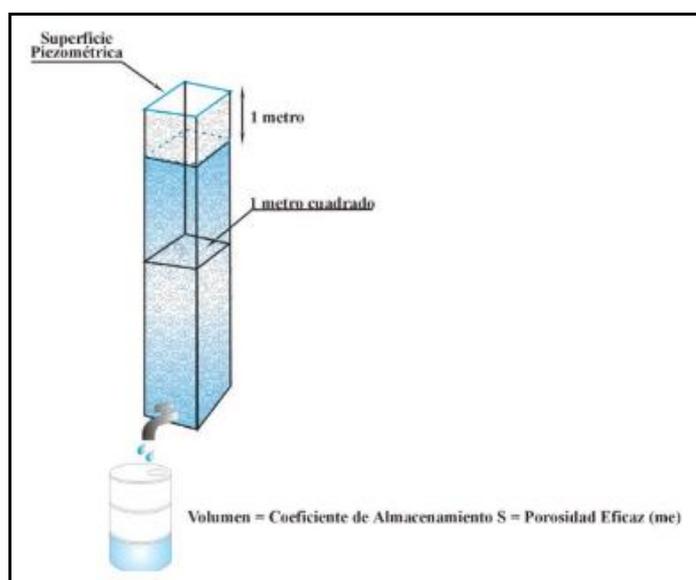


Figura 2.5: Representación gráfica del concepto de coeficiente de almacenamiento en un acuífero libre (García, 2015).

El coeficiente de almacenamiento es, como la porosidad eficaz, adimensional (volumen/volumen), y los valores que presenta son muchos más pequeños en los acuíferos

confinados perfectos que en los semiconfinados y libres (Tabla 2.1). Los valores aproximados son:

Tabla 2.1: Valores de coeficiente de almacenamiento (Sánchez San Román, 2013).

| Tipo de acuífero | Valor de Coeficiente de almacenamiento | Origen del agua |
|-------------------------|---|---|
| Acuíferos libres | 0,3 a 0,01 | El agua proviene del vaciado de los poros. |
| Semiconfinados: | 0,001 a 0,0001 | El agua proviene de descompresión y de los rezumes desde las capas confinantes. |
| Confinados: | 0,0001 a 0,00001 | El agua proviene de descompresión. |

2.1.2.2. Hidrodinámica

El flujo de agua se produce de una zona de mayor nivel energético hacia otra de menor valor siguiendo la analogía del flujo calórico o flujo eléctrico. El agua se mueve siguiendo un máximo gradiente. Así, una línea de flujo de agua subterránea a lo largo del mayor gradiente, se mueve en forma perpendicular a las líneas equipotenciales que representan puntos de igual valor energético (Schulz y García, 2014).

Una superficie equipotencial es el lugar geométrico de los puntos del espacio que tienen un mismo potencial hidráulico.

Una red de flujo es una representación esquemática del flujo en un plano mediante líneas de flujo y líneas equipotenciales. Las líneas equipotenciales son la traza de las superficies equipotenciales al ser cortadas por el plano en que se dibuja la red de flujo. El flujo siempre es tridimensional, así que las redes de flujo, en un plano pueden trazarse en un plano horizontal o en un corte vertical (Sánchez San Román, 2001).

La construcción de una red de flujo permite, entre otras cosas calcular, siempre que se cuenten con los parámetros de permeabilidad y área, el caudal circulante. También se puede establecer (obviamente) la dirección de flujo del agua subterránea, el gradiente hidráulico, el tiempo de tránsito de una molécula de agua y la velocidad de flujo (Schulz y García, 2014).

Las isopiezas, son las curvas de nivel de la superficie piezométrica o de los puntos de igual presión hidráulica de un acuífero; se identifican con las líneas equipotenciales, las cuales son las líneas de igual elevación de nivel estático, generalmente se expresan en metros sobre el nivel del mar (m s.n.m.).

Para identificar las isopiezas, se emplean también los términos de curvas isofreáticas cuando se refieren al movimiento de las aguas subterráneas en un acuífero libre y curvas piezométricas cuando se analiza un acuífero confinado.

Las curvas isopiezas pueden presentar cualquier forma, curvatura o inclinación, pero en muchas zonas la componente vertical del flujo es pequeña en comparación con la componente horizontal, es decir, que el flujo es casi horizontal y las superficies equipotenciales son aproximadamente verticales.

Cuando el flujo de agua es horizontal, las superficies equipotenciales son verticales, como se observa en la Figura 2.6. Allí se representa el flujo a través de un estrato acuífero horizontal, que se encuentra confinado.

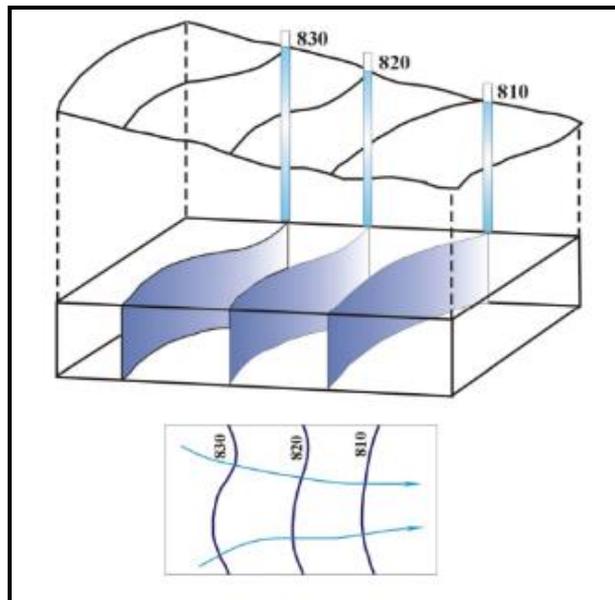


Figura 2.6: Líneas de flujo y equipotenciales (García Maurizzio, 2013).

En la Figura 2.7, se representa una situación correspondiente a un acuífero libre que aporta agua a un curso fluvial (río efluente) y en donde existe una componente de flujo vertical importante. En este caso, las redes de flujo se representan en cortes verticales o perfiles. Como es de suponer, para saber si el flujo subterráneo es horizontal, o si, por el contrario, presenta una componente ascendente o descendente, hay que medir el nivel energético del agua en el acuífero, lo que se hace realizando pozos puntuales (de acuerdo a lo que se quiera investigar) a diferente profundidad dentro del reservorio.

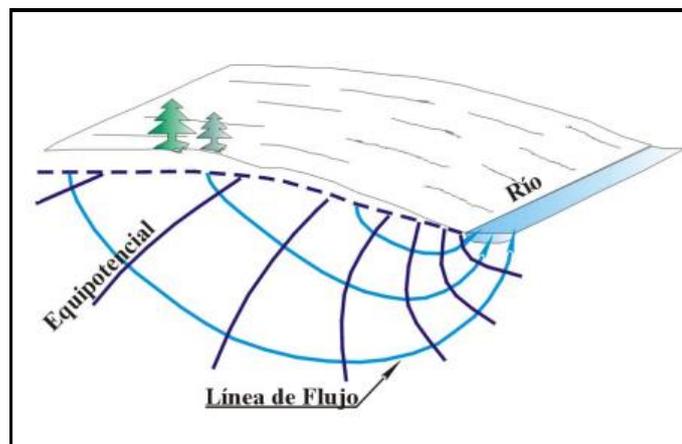


Figura 2.7: Líneas de flujo y equipotenciales (García Maurizzio, 2013).

Las curvas Isopiezas permiten, partiendo de las observaciones en el terreno y sus variaciones en las diferentes zonas del acuífero, obtener indicadores de gran utilidad sobre las características del movimiento de las aguas subterráneas. Por consiguiente, los mapas de curvas Isopiezas permiten:

- Calcular la profundidad de la superficie piezométrica.
- Trazar las líneas de flujo y determinar la dirección del movimiento de las aguas subterráneas.
- Determinar el gradiente hidráulico.
- Velocidad de flujo y tiempo de tránsito de moléculas.

2.1.2.3. Hidrogeoquímica

La hidrogeoquímica estudia el flujo de agua como vehículo de transporte de las características físico-químicas, químicas e isotópicas (Custodio, 1991), constituyéndose en una disciplina fundamental para el conocimiento de los ambientes hidrogeológicos, ya que puede informar sobre los procesos naturales y/o las actividades antrópicas que influyen cualitativamente sobre un sistema hídrico. Dicho alcance le otorga un rol relevante en la comprensión de los problemas de calidad y contaminación del agua y también en la definición de algunas características hidrogeológicas como recarga, tiempos de residencia, sistemas de flujo, etc., (Mariño y García, 2015).

La interpretación hidrogeoquímica requiere estudiar la composición del agua (hidroquímica) e identificar y explicar su distribución espacial y variación temporal. Para ello, se apoya en una amplia gama de herramientas que incluyen representaciones gráficas en diagramas y mapas, cálculo y valoración de relaciones iónicas, análisis de datos termodinámicos, planteo de modelos de balance de masas y, eventualmente, desarrollo de experiencias simples en laboratorio. El producto final de la interpretación hidrogeoquímica es un modelo conceptual que componga una representación simplificada del sistema, donde las variaciones espaciales de la composición del agua se explican a través de un conjunto de procesos modificadores que actúan sobre una solución inicial, como, por ejemplo, el agua de lluvia (Mariño y García, 2015).

1. Características Físico-Químicas del Agua

Las sustancias disueltas en el agua generalmente se presentan en forma iónica, ya sea eléctricamente positiva (cationes) o negativa (aniones), en la mayoría de los casos con una o dos cargas eléctricas (Mariño, 2016).

La concentración total de cada elemento resulta de la sumatoria de sus distintas especies estables, según las condiciones físico-químicas de la solución.

Convencionalmente, según su concentración relativa, los sólidos disueltos en forma iónica se agrupan en tres clases:

Iones principales o mayoritarios: Son los que generalmente presentan concentraciones superiores a 10 mg/l y entre ellos se encuentran aniones (cloruro, sulfato y bicarbonato) y cationes (sodio, magnesio y calcio). Es frecuente que el anión carbonato (CO_3^{2-}) y el catión potasio (K^+) también se consideran dentro de esta clase, aunque no siempre alcancen la concentración mínima adoptada. En el caso del nitrato (NO_3^-), su concentración natural lo ubicaría en el grupo siguiente, aunque por acción antrópica frecuentemente registra valores típicos de los iones principales.

Iones minoritarios: son los que generalmente registran concentraciones entre 10 y 0,1 mg/l, situación en la que suele encontrarse los iones carbonatos (CO_3^{2-}), nitrito (NO_2^-), amonio (NH_4^+), fluoruro (F^-) y ferroso (Fe^{2+}).

Elementos traza: se trata por lo general de los denominados “metales pesados” que se presentan en muy baja concentración, como es el caso del cromo, cobre, zinc, selenio, vanadio, uranio, etc. El arsénico constituye un caso especial, ya que, si bien se incluye en esta categoría, frecuentemente alcanza concentraciones más elevadas, de origen natural o antrópico, equiparables a los iones menores.

Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) es muy poco variable, debe medirse durante la toma de la muestra y su estabilización es un indicador de la representatividad de la muestra.

pH: indica la concentración del ión hidrógeno (H^+), en aguas naturales generalmente se mantiene en 6.5 y 8.5. Es una variable reguladora del equilibrio del sistema carbonato, y consecuentemente de la alcalinidad del agua, y junto con el potencial de óxido reducción (Eh) define la estabilidad de las especies iónicas. Es fácilmente alterable por lo que su determinación debe hacerse en el momento de la toma de la muestra (Mariño, 2016).

Conductividad eléctrica: ($\mu\text{S}/\text{cm}$) capacidad del agua para conducir la electricidad, como consecuencia de su contenido iónico, la variación de temperatura modifica notablemente la lectura, por lo que la mayoría de los conductímetros realizan una compensación automática a la temperatura de referencia (25°C).

Alcalinidad: mg/l de CaCO_3 , indica la capacidad de una solución para neutralizar ácidos. El agua se comporta como un sistema buffer, gracias a la presencia de los iones carbonato y bicarbonato junto a otros (Mariño, 2016).

2. Evolución Geoquímica

Las variaciones espaciales de la composición del agua se explican a través de un conjunto de procesos modificadores que actúan sobre una solución inicial (agua de lluvia) durante su circulación en los diferentes subsistemas, de manera que los cambios son el producto de su interacción con la atmósfera y con las distintas fases minerales presentes en la zona no saturada y el acuífero. Es esperable que la mineralización ocurra secuencialmente, según un orden creciente de solubilidad de las distintas sales que aportan los iones principales (Chebotarev, 1955). Así, en las aguas de recarga, con poco tiempo de contacto, prevalecerán los iones bicarbonato y calcio, pero rápidamente saturarán y serán reemplazados por sulfato y magnesio en las áreas de conducción, para finalmente dar lugar a cloruro y sodio como iones dominantes en las zonas de descarga. Este modelo simple asume que el único proceso actuante es la disolución y que los compuestos involucrados están disponibles, en cantidades significativas en la matriz del acuífero, condiciones que se cumplen en entornos muy particulares y por ello no se verifica en muchos sistemas hidrogeoquímicos.

3. Clasificación del Agua para Riego

Entre los sistemas desarrollados para alertar el peligro de salinización o sodificación del suelo se encuentra el propuesto por Richards (1954) para el Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos (Riverside, California). Este sistema se basa en la medida de la conductividad eléctrica del agua para determinar el riesgo de salinización del suelo y el cálculo de la Relación de Adsorción de Sodio (RAS) para determinar el riesgo de sodificación.

$$RAS = \frac{r(\text{Na})}{\sqrt{\frac{r(\text{Ca} + \text{Mg})}{2}}}$$

Las concentraciones de los iones se expresan en meq/L . Se definen cuatro clases de riesgo de salinización y otras cuatro de riesgo de sodificación (Figura 2.8), resultando en total 16 clases de agua (C1-S1, C1-S2, etc.) cada una de las cuales tiene unos condicionantes para ser utilizada en regadío. (Custodio y Llamas, 1983 en Olías et al. 2005).

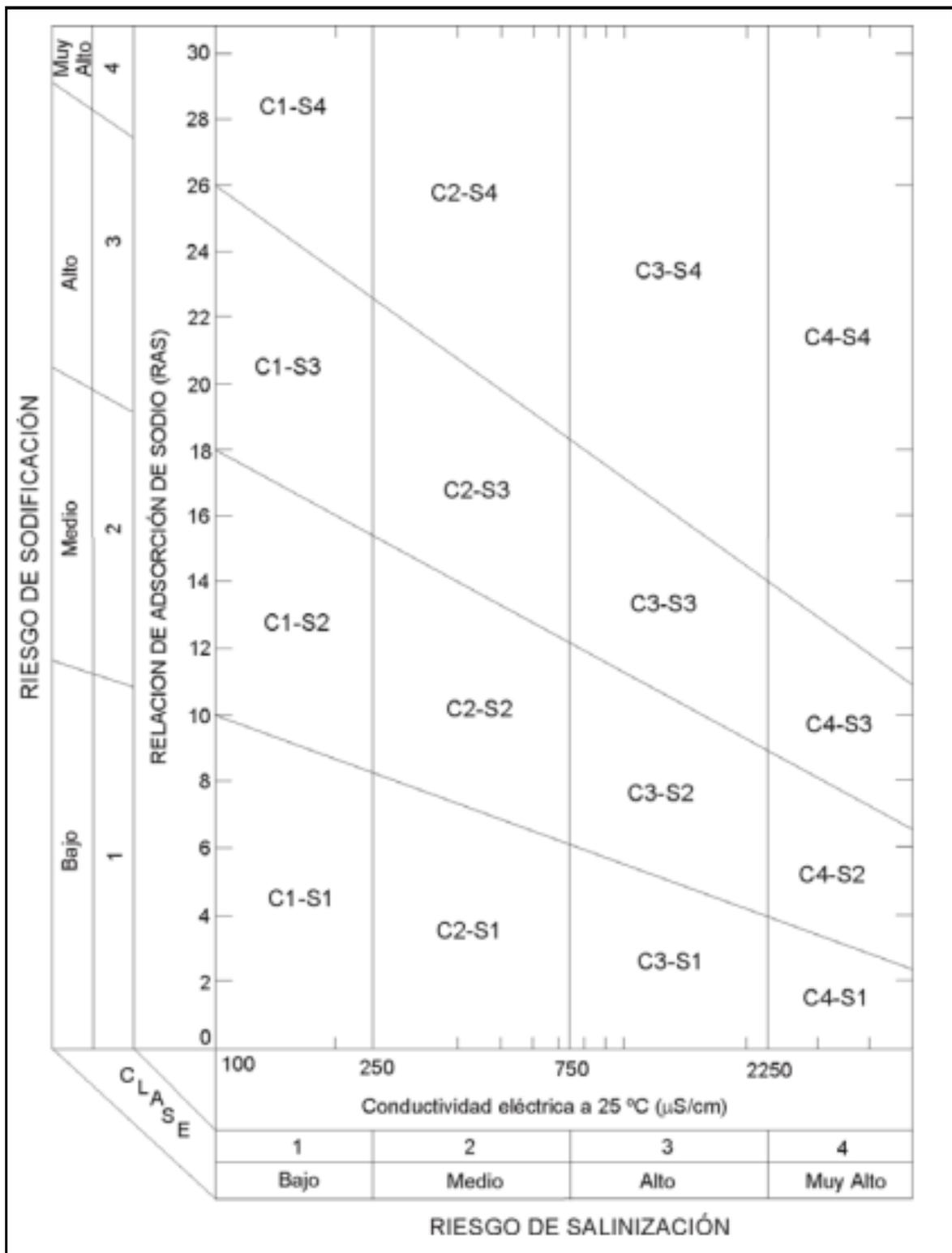


Figura 2.8: Diagrama para clasificar las aguas de riego según Richards (1954).

En la Tabla 2.2, se debe buscar los valores de clasificación obtenida y se interpreta la calidad del agua para riego de plantaciones.

Tabla 2.2: Clasificación de las aguas según normas Riverside.

| Tipos | Calidad y normas de uso |
|----------------|--|
| C ₁ | Agua de baja salinidad, apta para el riego en todos los casos. Pueden existir problemas sólo en suelos de muy baja permeabilidad. |
| C ₂ | Agua de salinidad media, apta para el riego. En ciertos casos puede ser necesario emplear volúmenes de agua en exceso y utilizar cultivos tolerantes a la salinidad. |
| C ₃ | Agua de salinidad alta que puede utilizarse para el riego de suelos con buen drenaje, empleando volúmenes de agua en exceso para lavar el suelo y utilizando cultivos muy tolerantes a la salinidad. |
| C ₄ | Agua de salinidad muy alta que en muchos casos no es apta para el riego. Sólo debe usarse en suelos muy permeables y con buen drenaje, empleando volúmenes en exceso para lavar las sales del suelo y utilizando cultivos muy tolerantes a la salinidad. |
| S ₁ | Agua con bajo contenido en sodio, apta para el riego en la mayoría de los casos. Sin embargo, pueden presentarse problemas con cultivos muy sensibles al sodio. |
| S ₂ | Agua con contenido medio en sodio, y, por lo tanto, con cierto peligro de acumulación de sodio en el suelo, especialmente en suelos de textura fina (arcillosos y franco-arcillosos) y de baja permeabilidad. Deben vigilarse las condiciones físicas del suelo y especialmente el nivel de sodio cambiante del suelo, corrigiendo en caso necesario |
| S ₃ | Agua con alto contenido en sodio y gran peligro de acumulación de sodio en el suelo. Son aconsejables aportaciones de materia orgánica y empleo de yeso para corregir el posible exceso de sodio en el suelo. También se requiere un buen drenaje y el empleo de volúmenes copiosos de riego. |
| S ₄ | Agua con contenido muy alto de sodio. No es aconsejable para el riego en general, excepto en caso de baja salinidad y tomando todas las precauciones apuntadas. |

2.1.2.4. Reservas de Agua Subterránea

Las reservas de agua subterránea representan el volumen de agua almacenada en una unidad hidrogeológica; generalmente se refieren a los acuíferos, dado que son productivos y permiten la extracción directa mediante pozos de bombeo. Sin embargo,

también tiene importancia la reserva de unidades improductivas (limos-arcillas), pues si bien no ceden agua en forma directa a las captaciones, pueden hacerlo indirectamente, mediante el aporte a los acuíferos (Auge, 2009).

La reserva total de agua es el resultado de considerar el volumen del reservorio multiplicado por su porosidad total (m). Puesto que no toda esa agua almacenada es extraíble por métodos mecánicos (bombeo, por ejemplo), es necesario introducir el concepto de reservas extraíbles que se obtiene multiplicando el volumen del acuífero por la porosidad eficaz (me).

Cuando se explota agua subterránea que se puede renovar naturalmente debido a los procesos de recarga (considerando un periodo de varios años) se dice que se explotan los recursos. Si se utiliza más agua de la que naturalmente puede renovarse o recargarse, se dice que se están explotando las reservas (García Maurizzio, 2013).

La explotación de las reservas de un reservorio de agua subterránea está estrechamente vinculada a la demanda del recurso. Cuando ésta supera a la tasa de recarga, comienzan a explotarse las reservas. En este punto deben efectuarse algunas consideraciones ya que, normalmente, la demanda parece ser infinita; mientras la oferta de agua es casi siempre finita. Uno de los aspectos que genera esta situación suele deberse a que el recurso hídrico subterráneo es prácticamente gratis o, de hecho, es gratis, lo que conlleva a su despilfarro y uso incontrolado (García Maurizzio, 2013). Esta situación puede determinar que se produzcan, entre otros, descensos de niveles piezométricos y modificación de la química del agua. Sin embargo, se debe tener presente que si bien un continuo descenso de los niveles piezométricos indica claramente que existe consumo de las reservas; no necesariamente significa que las extracciones de agua subterránea superen a la recarga (Custodio, 1996). De hecho, muchas veces el descenso de los niveles piezométricos, puede estar señalando que el sistema está buscando un nuevo estado de equilibrio que puede variar entre unos pocos y decenas de años, e incluso siglos (Custodio, 1996).

Queda expuesto entonces, como lo señalan Llamas et al. (2000), que los descensos progresivos y continuados del nivel de agua en los pozos de bombeo pueden conducir a una disminución de los caudales obtenidos o incluso al secado de los pozos y al incremento en los costos energéticos (debidos a la extracción del agua a mayor profundidad), lo que puede hacer económicamente inviable la explotación de los pozos. Sin embargo, los descensos de niveles por sí mismo (aun por una serie de años), pueden estar respondiendo a aspectos intrínsecos del reservorio (parámetros hidráulicos y dimensiones del acuífero) o bien a factores externos asociados al clima y la recarga.

Por otra parte, los factores que pueden producir un deterioro en la calidad del agua subterránea, normalmente, no suelen estar relacionados con la extracción del recurso, sino que se deben a otras causas como la aplicación de productos químicos en la agricultura, o las filtraciones de residuos de actividades urbanas, industriales y mineras. En los casos en que el deterioro es ocasionado por la explotación de las aguas subterráneas, el problema suele deberse a una inadecuada ubicación de las captaciones, y no necesariamente a la cantidad de agua subterránea extraída (Llamas et al., 2000).

Esto suele suceder en zonas costeras de regiones áridas o semiáridas y en ambiente de salares, en la zona dónde se interdigitan sedimentos evaporíticos con facies clásticas de abanicos fluviales, en las que el cambio de gradiente hidráulico debido a los bombeos puede originar la intrusión de agua salina.

2.1.2.5. Importancia del Recurso Hídrico en Zonas Áridas

El agua es un recurso fundamental para la vida humana y el desarrollo de sus actividades, atravesando las esferas político institucionales, económicas, sociales, culturales y físico naturales. En este contexto, la gestión del recurso hídrico se debe abordar desde una perspectiva integral, incluyendo todos los factores en el análisis. Esta integralidad cobra mayor

relevancia en zonas áridas, como consecuencia de la escases y fragilidad del recurso, y la urgencia de las demandas de las poblaciones humanas involucradas (Schulz y García, 2016).

En las zonas áridas existe limitada disponibilidad de agua, pero pueden existir importantes reservas de aguas subterráneas, acumuladas durante largos periodos de tiempo. El consumo intensivo de estas reservas (renovables a largo plazo, y dependiendo de la relación consumo-recarga) permite mantener durante un cierto tiempo un elevado desarrollo socio económico. Esto suele generar la percepción errónea de que no existen limitaciones críticas para el desarrollo socioeconómico, aunque se están consumiendo recursos no renovables (o renovables a largo plazo) a la vez que las consecuencias negativas se difieren en el tiempo hacia las siguientes generaciones. Además, el agotamiento o drástica reducción de las aguas subterráneas supondrán para la siguiente generación un coste en términos ambientales, energéticos y económicos difíciles de cuantificar, dadas las incertidumbres que rodean a los escenarios de cambios climáticos y disponibilidad energética (Martínez Fernández, 2006).

Las condiciones de aridez de algunas zonas, tienen como factor limitante la falta de precipitaciones durante los períodos vegetativos y reproductivos de los cultivos.

Para la planificación de plantaciones frutícolas en las zonas áridas de la provincia de La Rioja es de fundamental importancia determinar las necesidades de riego de los cultivos, teniendo en cuenta que durante todo el año hay deficiencia de agua en el perfil del suelo como consecuencia de un régimen hídrico de tipo cuasi-monzónico y de escasas precipitaciones que determinan la aridez del clima. Se suma a esto la evapotranspiración potencial elevada, que provocan un déficit de agua permanente para cualquier tipo de cultivo que se desee implantar en el territorio provincial (Costa y Minetti, 2001).

2.2. MARCO POLÍTICO, LEGAL Y ADMINISTRATIVO

El agua dulce es un recurso escaso, vulnerable y esencial para el desarrollo de la vida y de las actividades productivas. Legalmente, es considerado un bien económico que es fundamental legislar para un adecuado uso y sustentabilidad a largo plazo.

Al ser un recurso esencial para la vida surgen problemas de propiedad y sobre la utilización lo que precisa de normas y leyes para su uso.

2.2.1. Internacional

A nivel internacional, existen los Objetivos para el Desarrollo Sostenible que plantean un conjunto de metas e indicadores generales que se adecuen a todos los niveles de gobierno, cuya finalidad es garantizar la disponibilidad de agua, la gestión sostenible y el saneamiento para la humanidad (ONU, 2015).

El Objetivo 6 de Desarrollo Sostenible (ODS 6), consiste en garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos. Por definición, eso significa no dejar a nadie atrás, que fue el eslogan del día mundial del agua del año 2019 (García Maurizzio, 2019).

Para no dejar a nadie atrás, se deben concentrar esfuerzos en incluir a las personas que han sido marginadas. Los servicios de abastecimiento de agua deben satisfacer las necesidades de los grupos marginados. En los marcos normativos y jurídicos debe reconocerse el derecho de todos al agua, y debe proporcionarse financiación suficiente, de forma equitativa y efectiva, para los que más la necesitan.

En los últimos años, la comunidad internacional ha tomado mayor conciencia de la necesidad de desarrollar prácticas sostenibles para la protección, la gestión y el uso eficiente de los recursos hídricos. Las unidades naturales, como las cuencas hídricas y los sistemas acuíferos, son cada vez más reconocidas como los elementos básicos en los programas regionales, nacionales e internacionales. Sin embargo, actualmente, en muchos países (especialmente en los emergentes y subdesarrollados), las prácticas de gestión son mínimas, inexistentes o bien solo se consideran como ideas abstractas y teóricas que muchas veces no logran superar la etapa de la “buena disposición y entusiasmo” (Schulz y García, 2016).

La demanda de agua crece sostenidamente en el mundo debido principalmente al constante incremento de la población que solicita agua para consumo, agua para sistemas sanitarios, agua para riego de plantaciones –ya que la agricultura debe incrementar la superficie cultivada para brindar más alimentos–, agua para la industria –ya que incrementa su producción para satisfacer nuevas demandas– agua para generación de energía eléctrica, etc., lo que brinda una idea de la enorme presión a los que están sometidos los recursos hídricos.

2.2.2. Nacional

1. Constitución Nacional

La República Argentina tiene un sistema federal de organización, donde cada provincia conserva el dominio originario de los recursos naturales existentes en su territorio, en este caso, el agua. De tal forma, la primera característica significativa que aparece en el derecho positivo argentino es la coexistencia de tantos regímenes legales como provincias existen, a lo que debe sumarse la legislación de carácter nacional, la cual resulta aplicable en determinadas jurisdicciones o en actividades específicas. Con la reforma de la Constitución Nacional de 1994 se introduce una disposición relativa al dominio de los recursos naturales (Art. 124). En tal sentido, se establece que “corresponde a las provincias el dominio originario de los recursos naturales existentes en su territorio”. Los estados provinciales conservan todo el poder no delegado al Gobierno Federal, así como aquel que se hubiesen reservado por medio de pactos especiales. La excepción la constituyen aquellos recursos que, en forma

expresa, hubieran sido transferidos constitucionalmente a la Nación (Pigretti, 1997 en Schulz y García, 2016).

2. Principios Rectores de Política Hídrica

Debido a que en la Argentina no existe una Ley Nacional del Agua, se toman como referencia los “Principios Rectores de Política Hídrica (PRPH)” dada su conformación federal, siendo de utilidad para la elaboración de estrategias de gestión de los recursos hídricos.

Los Principios Rectores de Política Hídrica constituyen un marco general programático de acción para la gestión de los recursos hídricos, conformado por 49 puntos clasificados en ocho secciones, que intentan reflejar toda la complejidad involucrada en el manejo del agua. Entre ellos se encuentran: Planificación hídrica; El agua como bien de dominio público; Organizaciones de usuarios; Uso equitativo del agua; Gestión integrada, descentralizada y participativa, Asignación de derechos de uso del agua; El agua como motor del desarrollo sustentable; Desarrollo de la cultura del agua; Monitoreo sistemático; Conservación y reúso del agua.

3. Código Alimentario Argentino – Ley Nacional 18.284

El Código Alimentario Argentino (CAA), es un marco regulatorio que incluye los niveles guías de diversas sustancias biológicas, químicas y radiológicas presentes en agua.

El Capítulo XII del Código se refiere a “Bebidas hídricas, agua y agua gasificada”, e incluye los valores recomendados para diferentes parámetros (actualizado hasta octubre de 2012). El Artículo 982° define “Con las denominaciones de Agua potable de suministro público y Agua potable de uso domiciliario, se entiende la que es apta para la alimentación y uso doméstico: no deberá contener sustancias o cuerpos extraños de origen biológico, orgánico, inorgánico o radiactivo en tenores tales que la hagan peligrosa para la salud (Tabla 2.3). Deberá presentar sabor agradable y ser prácticamente incolora, inodora, límpida y transparente.

El agua potable de uso domiciliario es el agua proveniente de un suministro público, de un pozo o de otra fuente, ubicada en los reservorios o depósitos domiciliarios”.

Deben cumplir con las características físicas, químicas y microbiológicas siguientes:

Tabla 2.3: Niveles guías de algunas sustancias biológicas y químicas presentes en el agua (CAA).

| Características físicas | Turbiedad | Max. 3 NTU |
|--------------------------|--|---------------------|
| | Color | máx. 5 escala Pt-Co |
| | Olor | sin olores extraños |
| Características químicas | pH | 6,5 - 8,5 |
| Sustancias Inorgánicas | Amoníaco (NH ₄ ⁺) | máx.: 0,20 mg/l |
| | Aluminio residual (Al) | máx.: 0,20 mg/l |
| | Arsénico (As) | máx.: 0,05 mg/l |
| | Cadmio (Cd) | máx.: 0,005 mg/l |
| | Cianuro (CN ⁻) | máx.: 0,10 mg/l |
| | Cinc (Zn) | máx.: 5,0 mg/l |
| | Cloruro (Cl ⁻) | máx.: 350 mg/l |

| | | |
|---------------------------------|--|---|
| | Cobre (Cu) | máx.: 1,00 mg/l |
| | Cromo (Cr) | máx.: 0,05 mg/l |
| | Dureza total (CaCO ₃) | máx.: 400 mg/l |
| | Fluoruro (F ⁻) | min 0,7 mg/l máx 1,2 mg/l (mediana: varía según temperatura) |
| | Hierro total (Fe) | máx.: 0,30 mg/l |
| | Manganeso (Mn) | máx.: 0,10 mg/l |
| | Mercurio (Hg) | máx.: 0,001 mg/l |
| | Nitrato (NO ₃ ⁻) | máx.: 45 mg/l |
| | Nitrito (NO ₂ ⁻) | máx.: 0,10 mg/l |
| | Plata (Ag) | máx.: 0,05 mg/l |
| | Plomo (Pb) | máx.: 0,05 mg/l |
| | Sólidos disueltos totales | máx.: 1500 mg/l |
| | Sulfatos (SO ₄ ⁼) | máx.: 400 mg/l |
| | Cloro activo residual (Cl) | mín.: 0,2 mg/l |
| Características microbiológicas | Bacterias coliformes | NMP a 37° C - 48 horas. en 100 ml: igual o menor de 3. |
| | Escherichia coli | ausencia en 100 ml |
| | Pseudomonas aeruginosa | ausencia en 100 ml |

2.2.3. Provincial

A nivel provincial, la Constitución de la Provincia de La Rioja, sancionada en el año 2008 expresa en su Artículo 63° que “son de dominio público de la provincia los lagos, ríos y sus afluentes y todas las aguas públicas existentes en su jurisdicción”. La ley que reglamente su uso deberá establecer que toda concesión de uso y goce de aguas del dominio público es inseparable y se atribuye como derecho inherente al predio.” Es decir que el recurso hídrico es propiedad del estado y es un derecho público por el cual el estado debe garantizar su acceso independientemente que este se encuentre dentro de un predio privado.

La legislación referida a la calidad del agua de bebida y que establece un marco regulatorio es la Ley Provincial de La Rioja 6.281.

1. Código de Agua. Ley 4.295. Año 1984

El Código de Agua de la provincia de La Rioja expresa en su Artículo 1° que se deberá regular “el aprovechamiento de las aguas, la conservación, defensa contra sus efectos nocivos, el uso y defensa de los álveos, las obras hidráulicas, y las limitaciones al dominio en interés de su uso.” En el Artículo 6° se aclara que “las aguas públicas de la provincia de La Rioja, serán usadas para satisfacer las necesidades de sus habitantes, fomentando su desarrollo socioeconómico, manteniendo un equilibrio con la naturaleza”.

A su vez en su Artículo 7° establece que el estado será el encargado de inventariar y evaluar los recursos hídricos, planificando los usos en función de la demanda presente y proyectada.

En el Artículo 8 se expresa que es el Estado Provincial, por intermedio de la autoridad de aplicación, quien determinará, anualmente, el costo del agua.

A su vez, en el Artículo 14° se plantea que la administración, uso y manejo de los recursos hídricos, se realizarán considerando la permanencia del ciclo hidrológico, en donde todas las aguas se encuentran interconectadas independientemente del estado o forma en que se presentan en la naturaleza. Este artículo plantea la gestión holística de los recursos hídricos.

Considerando que el agua subterránea es la principal fuente utilizada en el valle y principal objeto de estudio de esta tesis, se resalta la importancia del artículo 164 que hace referencia a la explotación de acuíferos. El artículo expresa que, “en los acuíferos con recarga, la autoridad de aplicación determinara volúmenes de extracción anual que no podrán superar los volúmenes de recarga anual. Podrán establecer volúmenes de extracción inferiores a los volúmenes de recarga cuando se hiciera necesario para preservar la calidad, las presiones y la estructura física del acuífero”.

Luego, en El Artículo 167 referente al Uso privativo, se menciona que “Es necesaria la obtención de permisos o concesión de la autoridad de aplicación para la explotación de agua subterránea”.

El Artículo 173 determina que “Una vez efectuada la perforación, deberá suministrarse a la autoridad de aplicación los datos e informes que exija el reglamento, tendientes a establecer las características de la perforación, análisis cualitativos y cuantitativos del agua”. En el mismo artículo se aclaran los datos que deben suministrarse:

1. Profundidad y diámetro del pozo, número de acuíferos atravesados, niveles piezométricos, caudal y calidad del agua.
2. Perfil geológico y estratigráfico y perfilaje eléctrico de la perforación, perfil de entubación, consignado diámetro y tipo de filtro.
3. Muestras de aguas y análisis químico.
4. Sistema utilizado para aforar y caudal extraído.

Dicho artículo expresa la presentación de la carpeta técnica del pozo, la cual es de suma importancia para poder tener registros desde el perfil geológico, estratigráfico, perfilajes eléctricos hasta los análisis químicos del recurso lo que permite saber la calidad del agua.

En el Artículo 177 se especifican las condiciones de uso de las aguas subterráneas. “la autoridad de aplicación en ejercicio de las facultades que le otorgan las disposiciones de este título” establece en el ítem 4 “fijar regímenes extraordinarios de extracción en caso de baja del nivel del acuífero”.

El Artículo 178 se refiere al control de extracción. Se menciona que “Todos los pozos deberán ser provistos de dispositivos aprobados por la autoridad de aplicación que permitan controlar el caudal de la extracción”, a su vez agrega, “asimismo se colocarán en forma definitiva elementos o dispositivos que permitan el registro periódico de los niveles estáticos y dinámicos”. Este artículo es de suma importancia porque permite registrar los caudales erogados por los pozos, de esta manera, se puede conocer la extracción total del recurso hídrico a lo largo de un periodo y visualizar la variación o no de los niveles estáticos, determinando si la extracción del recurso hídrico subterráneo supera la recarga.

2. Ley 8.837 Control de Perforaciones. Año 2010

La Ley 8.837 tiene por objeto el control de las perforaciones existentes, como así también a las que se construyan en un futuro en todo el ámbito de la provincia de La Rioja, con el fin de preservar las cuencas hídricas. En esta Ley se establece que las perforaciones que se efectúen en el territorio provincial deben ser autorizadas y presentar información

relacionada con memoria técnica, perfilajes eléctricos, entubación, análisis de calidad de agua y otros requisitos que la autoridad considere pertinentes. Sin embargo, existen numerosas perforaciones no declaradas.

3. Ley Provincial 8.871. Política Hídrica Provincial. Año 2010

En la presente Ley se establece la creación del Instituto Provincial del Agua La Rioja (IPALaR), órgano responsable de la administración del recurso.

Se crea como un organismo autárquico cuyas funciones serán establecer la política hídrica provincial y fortalecer la gestión institucional del sector hídrico en el ámbito de la provincia de La Rioja, organizando y regulando los instrumentos para el gobierno. El IPALaR es el encargado de la administración de las aguas superficiales y subterráneas, investigación científica, relevamiento, transferencia de conocimientos y servicios, en relación a los recursos hídricos existentes en el territorio provincial.

CAPÍTULO 3: ÁREA DE ESTUDIO y ANTECEDENTES

3.1 ÁREA DE ESTUDIO

La presente investigación se desarrolla en la Cuenca Antinaco – Los Colorados (Figura 3.1.) en las colonias agrícolas de Tilimuqui, Malligasta y Anguinán (Figura 3.2), emplazadas en el Valle Central, al Este de la Ciudad de Chilecito, en el departamento homónimo, Provincia de La Rioja, Argentina.

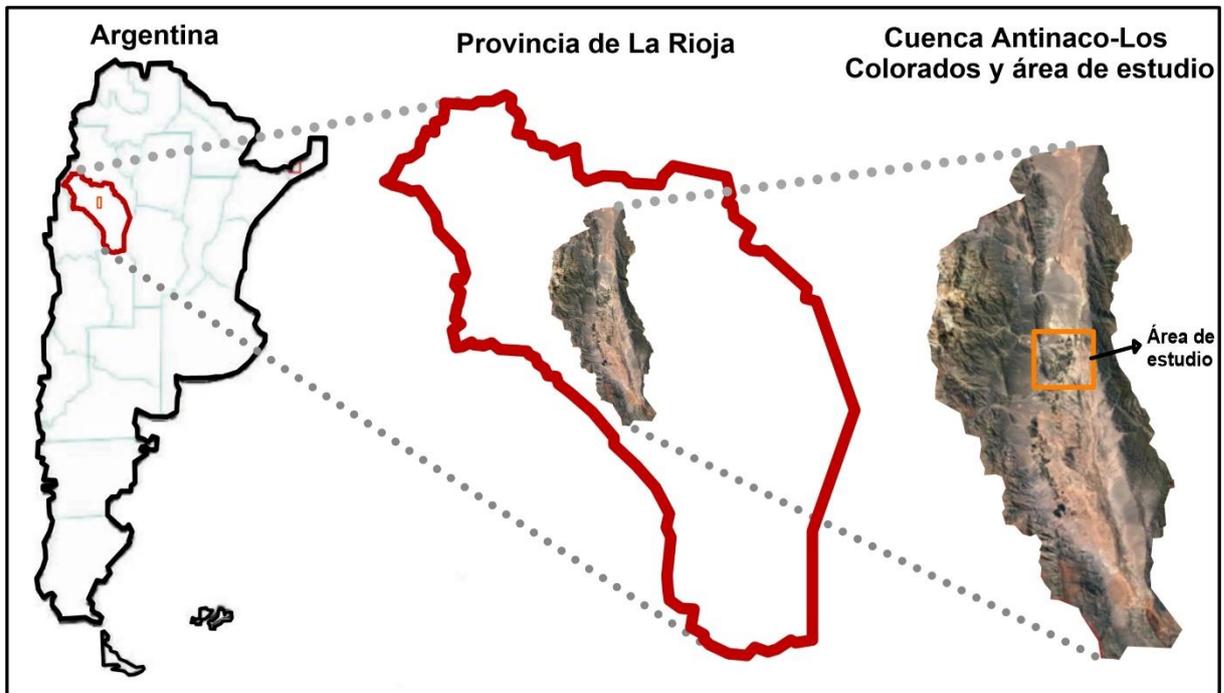


Figura 3.1. Posición relativa del Área de estudio. Fuente: Elaboración propia.

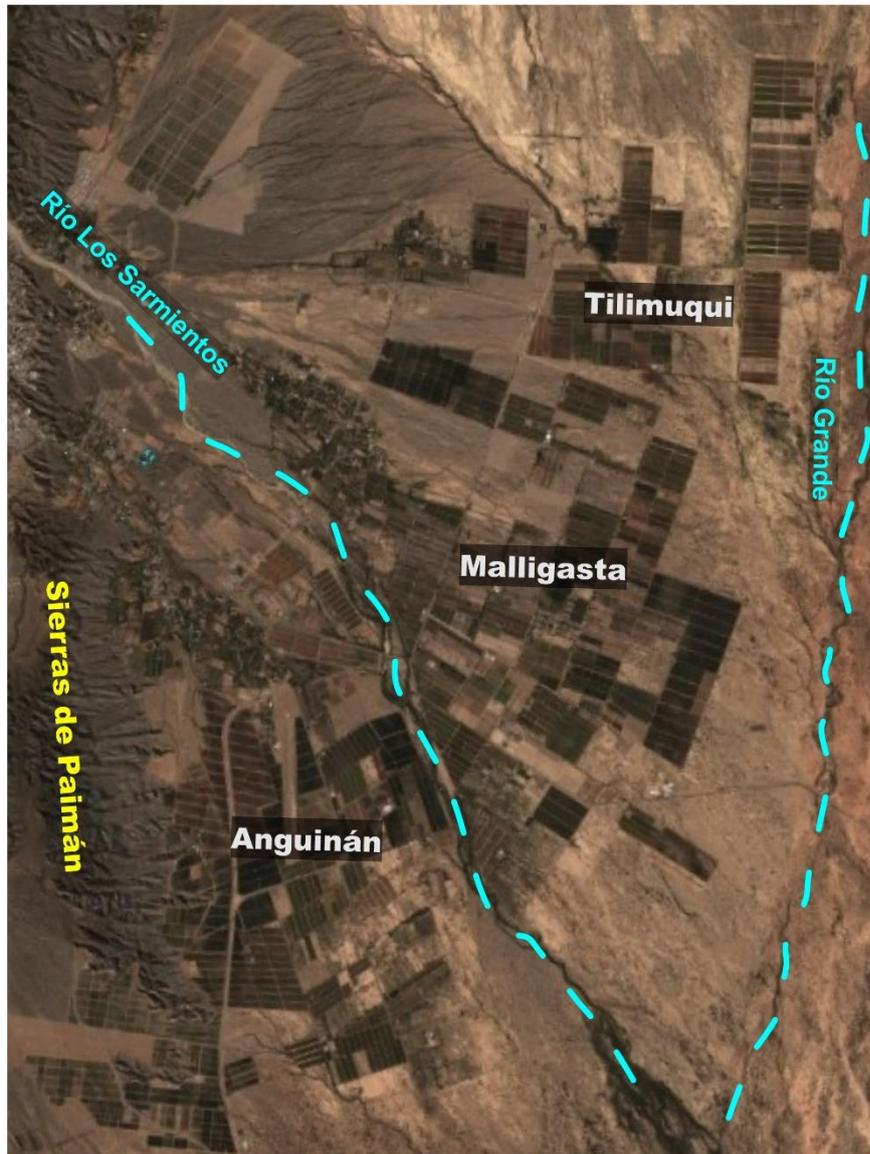


Figura 3.2. Área de estudio Fuente: Imagen 59-Sentinel-2-L2A. Fecha: 25/04/22.

La cuenca Antinaco – Los Colorados comprende los Departamentos de Famatina, Chilecito e Independencia con una superficie total de aproximadamente 8.200 Km² (Sosis, 1971). El área del valle central, dónde se desarrolla el sistema acuífero, presenta una superficie 2.965 Km² (Victoria, 1962). La cuenca pertenece a la región hidrogeológica de Sierras Pampeanas y sus Valles (Auge et al. 2006) donde límites naturales lo establecen al Oeste las sierras de Famatina y al Este las sierras del Velasco. El límite Norte se localiza en la localidad de Antinaco, mientras que el límite Sur, está conformado por los afloramientos rocosos de la Formación Los Colorados. El tramo comprendido entre las localidades de Famatina y Nonogasta se encuentra subdividido por un cordón de rocas ígneas denominado Sierras del Paimán. Hacia el Este de este cordón se localizan las colonias de Tilimuqui, Malligasta y Anguinán (Figura 3.3).

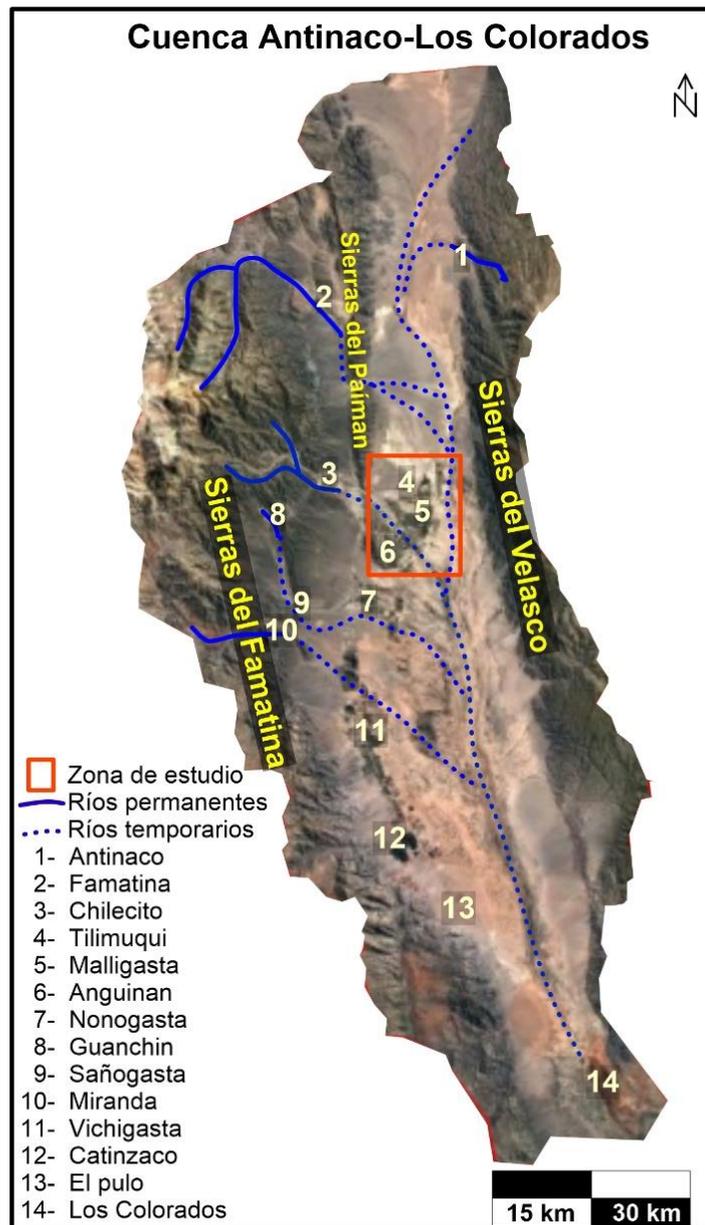


Figura 3.3. Cuenca Antinaco – Los Colorados. Los perfiles se generan usando google Pro.

En esta región, la tectónica cenozoica generó depresiones intermontanas entre bloques ascendidos del basamento Precámbrico-Paleozoico inferior, orientados Norte-Sur que, rellenas por sedimentitas Paleógenas y Neógenas y sedimentos Cuaternarios, constituyen cuencas de agua subterránea con espesores que alcanzan los 500 metros (Auge et al. 2006). Por debajo de los sedimentos modernos se encuentran sedimentitas precuaternarias las cuales, de acuerdo a estudios geofísicos eléctricos, portarían aguas con tenores altos de salinidad (Rocca et al. 1975).

Los sedimentos que rellenan la depresión intermontana, proceden de la erosión de los afloramientos rocosos que limitan la cuenca, formando una potente secuencia de sedimentos fluviales en morfologías de abanicos fluviales que, en muchos casos, se interdigitan y son coalescentes con otros abanicos, dando lugar a morfologías de pie de monte, caracterizados por formar planos inclinados suavemente hacia el centro de la depresión intermontana. Frente a estos piedemontes se suceden terrenos de sedimentos más finos de gran fertilidad natural (Victoria, 1962).

En el área de estudio, pueden distinguirse tres ambientes geomorfológicos; hacia el Noroeste se encuentra un importante abanico fluvial 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 %, y está conformado por facies predominantemente gruesas a muy gruesas (gravas y bloques), con matriz de arenas gruesas. Esta zona, por su génesis y características texturales, conforma un ambiente propicio para la presencia de un acuífero libre que, en promedio presenta valores de 0,1 de porosidad eficaz (Sosic, 1971) y permeabilidad media de 85 m/día (Miguel, 2016). Hacia el Este y Sur, la pendiente topográfica de abanico fluvial varía entre 1 y 2 % y se caracteriza por la presencia de sedimentos más finos (arenas, limos y arcillas intercaladas), dando lugar al desarrollo de un acuífero libre y acuíferos semiconfinados, con valores de coeficiente de almacenamiento en el orden de 1×10^{-3} (Rocca et al, 1975).

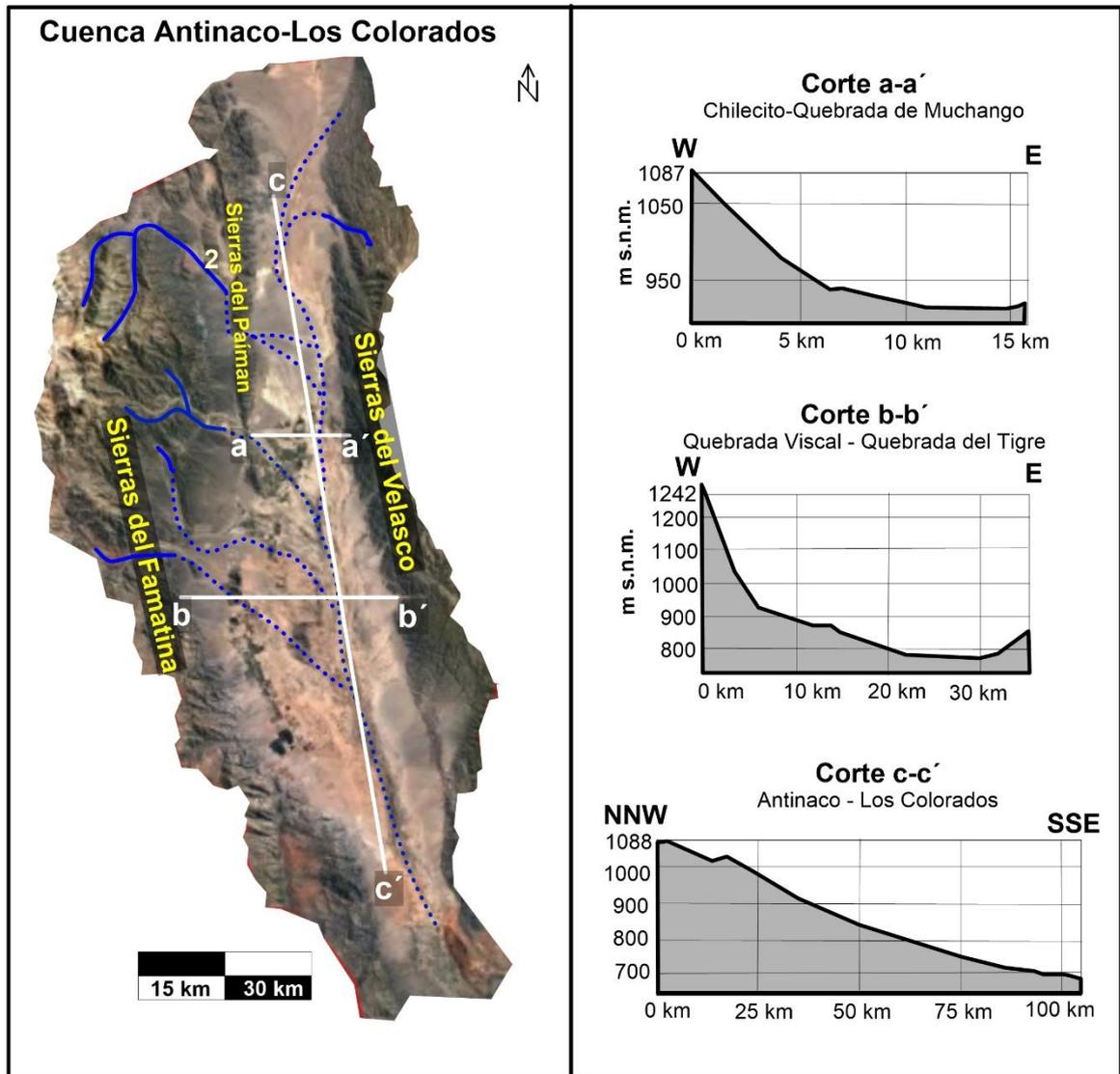


Figura 3.4: Corte topográfico cuenca Antinaco – Los Colorados. Los perfiles se generan usando google Pro.

La topografía de la cuenca, se encuentra marcadamente influenciada por las sierras del Famatina, Paimán y Velasco y el valle fluvial Antinaco - Los Colorados. En la Figura 3.4, se observa un perfil topográfico a-a' que posee un rumbo Oeste-Este desde el río Los Sarmientos, en su paso por las Sierras del Paimán, y la quebrada del Muchango (sierras del Velasco). Las cotas topográficas varían entre 1.087 metros sobre el nivel del mar (m s.n.m) (extremo Oeste) a 907 m s.n.m en la zona baja. El perfil b-b' posee una dirección Oeste-Este, desde la quebrada El Viscal (sierras de Famatina) hasta la quebrada del Tigre (sierras de Velasco). Las cotas topográficas van desde 1.242 m s.n.m en la quebrada El Viscal a 790 m s.n.m en los bajos de Santa Elena, para elevarse en el pie de monte, sobre el cono de

deyección de la mencionada quebrada, a unos 838 m s.n.m. El perfil c-c', tiene rumbo NNO-SSE, en sentido longitudinal del valle. Las mayores cotas topográficas se encuentran hacia el Norte (Antinaco) con valores de 1.088 m s.n.m y las menores hacia el Sur, a la altura del campamento de Vialidad "El Pulo", distante 15 km de "Los Colorados" donde encuentra el límite de la cuenca, a unos 708 m s.n.m (Miguel, 2015b).

Respecto al clima en la cuenca es de tipo árido, seco, con temperaturas máximas medias en el mes más cálido de 34°C y mínimas de 19°C, y en el mes más frío registra máxima media de 18°C y mínima media de 2°C, con dos épocas claramente diferenciadas, la estival lluviosa (precipitación media de 43,9 milímetros (mm) para el mes más húmedo) y la invernal seca (precipitación media 1 mm para el mes más seco) Servicio Meteorológico Nacional (SMN 1988-2010). La precipitación en el valle es variable con un gradiente Oeste-Este, hacia las cumbres de las sierras de Famatina las precipitaciones medias anuales superan los 300 mm, en el centro del valle son inferiores a 100 mm (Bianchi et al. 2006) y hacia las sierras del Velasco la información es escasa, aunque de acuerdo a datos aportados por los consorcios de riego serían inferior a 50 mm. Según Costa y Minetti (2001), la evapotranspiración potencial media anual en la localidad de Chilecito es de 1.193 mm y la precipitación media anual de 192 mm con variaciones entre 57,4 mm (año seco) y 325,5 mm (año húmedo) lo que determina un déficit hídrico a lo largo de todo el año.

Sosic (1971), indica que el promedio anual de precipitación en la localidad de Chilecito entre los años 1902 y 1958 fue de 178,8 mm y que, groseramente, se infiere que un 10% de esta precipitación se infiltra y alcanzan a formar parte del agua subterránea.

Debe resaltarse aquí la ausencia de información climática sistematizada y de largo plazo en la cuenca. Desde el CRAS-INA se confeccionó en 1970 una red que compiló datos hasta el año 1979 en distintos puntos de la cuenca (Salvioli, 1980). Si bien la información es acotada, se evidencian las marcadas diferencias de precipitaciones en diferentes áreas de la cuenca, y la necesidad de poner en marcha una red que permita compilar los datos a largo plazo, en especial en un contexto de Cambio Climático.

3.1.1. Modelo Conceptual de Funcionamiento del Sistema Hídrico Subterráneo

El Sistema Acuífero del Valle central Antinaco - Los Colorados se desarrolla en una fosa tectónica rellena por sedimentos fluviales de edad paleógena - neógena y cuaternaria. Es considerada una cuenca subterránea cerrada que almacenó importantes volúmenes de agua (Peña, 1969).

El reservorio de agua subterránea desarrollado en sedimentos del cuaternario está conformado por un sistema acuífero multicapas, conformado por facies clásticas típicas de abanicos fluviales, por lo que es común encontrar acuíferos libres en sedimentos gruesos (rodas, gravas y arenas); acuíferos semiconfinados y confinados que, en conjunto, presentarían espesores variables entre 300 a 500 metros (Sosic, 1971).

De acuerdo a Sosic (1971), la recarga del sistema acuífero está directamente vinculada a las precipitaciones líquidas y al agua superficial de ríos y arroyos que, al abandonar el sistema serrano, se infiltran totalmente en la parte apical de los abanicos aluviales, además de una compleja red de diaclasas presentes en las sierras del Famatina y Velasco. Sosic (1971), estima que la recarga al sistema acuífero se encuentra en el orden 136 hm³/año, el equivalente al 10% del total de precipitaciones en la cuenca. El agua superficial, aportada desde las sierras de Famatina y en menor medida desde las sierras de Velasco, recargaría el sistema acuífero principalmente, a través de los abanicos aluviales. Se estima que las crecidas estivales (período de mayor precipitación en la región), pueden desempeñar un rol importante en la recarga. Sin embargo, no se poseen datos de caudales en los picos de crecidas en los ríos, aunque según Victoria (1962) cito aforos puntuales efectuados por la Agua y Energía de La Nación, en el río Famatina donde se midieron caudales máximos de 38,3 m³/s. Existen marcadas diferencia a lo largo del año en el régimen de los ríos con

caudales máximos que rondan los 5 m³/s (sin considerar crecidas) en verano y 1 m³/s en primavera (estiaje), considerando la suma de los caudales totales de todos los ríos.

En la zona de estudio, el área de aporte a la recarga más importante está relacionado a la quebrada de Capayán y el río Los Sarmientos. (tanto de forma superficial como subterránea). También, existen otros aportes desde quebradas y abanicos aluviales desarrollados sobre el faldeo de las sierras de Velasco y Famatina, como las quebradas del Portezuelo, Molles, Puquitay y Muchango, aunque su contribución si bien no es mayoritaria, no están determinados. Como recarga artificial, debe considerarse la posibilidad de que los retornos de riego infiltren y alcancen, en algunos sectores, los niveles más superficiales del sistema acuífero.

La descarga natural del agua subterránea del sistema acuífero se produciría por evapotranspiración de especies freatófitas (Morello, 1958 en Susic, 1971); mientras que la descarga artificial se realiza por medio de una importante red de pozos localizados a lo largo del valle.

En cuanto al agua subterránea, existen diferentes valores de reservas según los autores. Victoria (1962) estima un total de 18.000 hm³, Susic (1971) 22.700 hm³ mientras que Poblete y Guimaraes (2006) lo estiman en 4.000 hm³. Debido a que este último estudio cuenta con apoyo de geoelectrónica y mayor conocimiento del subsuelo, este valor representa adecuadamente los valores de la reserva.

3.1.2. Colonias Agrícolas Tilimuqui, Malligasta y Anguinán

A partir de la Ley Nacional 17.424 “Beneficios tributarios – exenciones impositivas – inversiones Agropecuarias – La Rioja” sancionada el 5 de septiembre de 1967 se crearon las colonias agrícolas en, Tilimuqui, Malligasta y Anguinán, dicha ley fue la base de la Ley N° 22.021 de Promoción Industrial que cobró auge desde el año 1978.

Como consecuencia de la aplicación de la Ley 17.424, la superficie cultivada creció impulsada a través del Plan de Colonización del Gobierno de La Rioja donde se proyectaba para un período de cuatro años la construcción de alrededor 140 perforaciones en las Colonias de Anguinán, Malligasta, Tilimuqui y Vichigasta (Peña, 1969). En este contexto, se desarrollaron baterías de pozos (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; posteriormente se realizaron otros trabajos de investigación, para conocer la evolución hidrodinámica e hidroquímica del Sistema Acuifero del Valle Antinaco – Los Colorados que incluyeron a la zona de las colonias agrícolas de Tilimuqui, Malligasta y Anguinán.

3.1.3. Superficie Cultivada en Tilimuqui, Malligasta y Anguinán

En la Tabla 3.1 se presenta la comparación de la superficie cultivada en las localidades de Tilimuqui, Malligasta y Anguinán en los años 2004 y 2014.

Tabla 3.1: Variación de la superficie cultivada en el período 2004 y 2014.

| Distrito | Superficie 2004* en Hectáreas | Superficie 2014** en Hectáreas | % incremento |
|-------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|---------------------|
| Tilimuqui | 708 | 1.027 | 45,0 |
| Malligasta | 2.192 | 2.550 | 16,3 |
| Anguinán | 1.187 | 1.609 | 35,5 |
| Total | 4.087 | 5.186 | 26,9 |

Fuente: *Poblete y Guimaraes (2006) en base a Brito y Del Moral (2004). **Miguel et al. (2015a)

Se advierte que la superficie cultivada se incrementó en los distritos estudiados un 26,9%. Malligasta aumentó su superficie un 16,3%, Anguinán un 35,5% y Tilimuqui, donde se produjo el mayor aumento, un 45%, debido principalmente a desarrollos hortícolas y nuevas plantaciones de vid.

Desde el año 1970 en las colonias agrícolas de Tilimuqui, Malligasta y Anguinán se ha desarrollado una prolífica actividad agrícola con una elevada demanda del recurso hídrico subterráneo. Si bien en los primeros 35 años de explotación se ha efectuado el seguimiento del sistema acuífero, desde el año 2005 hasta el año 2014, no se había estudiado su evolución. Existe en el área de estudio productores con diferentes modelos productivos más tecnificados y menos tecnificados y por lo tanto con diferentes sistemas de riego y eficiencias de aplicación, cuestión que será abordada en el apartado 5.3. Utilización del recurso hídrico.

3.2. ANTECEDENTES HIDROGEOLÓGICOS

Los primeros trabajos que destacan la importancia del agua subterránea en la Cuenca Antinaco – Los Colorados, corresponden a Braccacini y Rey (1951); Victoria (1962) y a Susic (1971). El primero, efectuado en el marco de la Dirección de Minería de La Rioja, efectúa algunas estimaciones de reservas en base a la limitada información disponible; el segundo, desarrollado por el Consejo Federal de Inversiones (CFI), efectúa una descripción del valle, estimando su superficie en 2.965 km², realizando una descripción de los principales ríos y manantiales. Destacando, de acuerdo a la geomorfología, la potencialidad de importantes volúmenes de recursos hídricos. Susic (1971) realizó el primer documento con énfasis en la hidrogeología, estimó la superficie total de la cuenca en 8.200 km² y efectuó cálculos preliminares de recarga y reserva, de acuerdo a los datos de pozos disponibles.

Susic (1971), describe al Sistema Acuífero del Valle Antinaco-Los Colorados como un acuífero multicapa, que posee una recarga aproximada de 136 hm³/año y una reserva de agua subterránea del orden de 22.700 hm³. Además, indica que las extracciones de agua subterránea para uso agrícola consumían antes de la puesta en marcha del plan de colonización alrededor de un 37% de la recarga poniendo en alerta la sustentabilidad del sistema en caso de aumentar la demanda sobre el recurso. El Centro Regional de Agua Subterránea (CRAS), perteneciente al Instituto Nacional del Agua (INA), efectuó, numerosos trabajos de consultoría para el gobierno de la Provincia de La Rioja entre los años 1973 y 2005. El estudio realizado por Rocca et al. (1975) describe detalladamente la red de pozos existentes y realiza el primer análisis hidrodinámico en todo el Valle Central Antinaco – Los Colorados. El estudio efectuado por Poblete y Guimaraes (2006), evalúa la situación del recurso hídrico subterráneo y advierte que los niveles piezométricos se profundizaron de manera constante desde el año 1973 al 2005, con cambios en la dirección de flujo de agua subterránea en áreas intensamente bombeadas e indicios de salinización en algunos pozos. En este sentido, concluye que las extracciones superan a la recarga y que por lo tanto la explotación se encuentra por encima de los niveles estrictamente sustentables.

Miguel (2015b) considera que la actual gestión del recurso hídrico en la Cuenca Antinaco – Los Colorados no se condice con los principios de Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) ya que no integra en sus decisiones a los diversos sectores, las organizaciones de productores e industriales, instituciones con capacidades en el estudio de los recursos hídricos y a la población interesada en general. Por otro lado, la demanda y uso del agua no es actualmente cuantificada, lo que se traduce en un uso ineficiente y puede conducir a la explotación intensiva del recurso.

CAPÍTULO 4: MATERIALES y MÉTODOS

A continuación, se detallan los materiales y la metodología utilizada para responder a los objetivos planteados. A fin de favorecer su comprensión se la discrimina por objetivos específicos.

Objetivo específico 1: Determinar la hidrodinámica e hidroquímica del recurso hídrico subterráneo en las colonias agrícolas de Tilimuqui, Malligasta y Anguinán, y su evolución respecto a estudios antecedentes.

Para desarrollar el objetivo específico 1 se seleccionaron pozos en las colonias agrícolas de Tilimuqui, Malligasta y Anguinán, efectuando visitas a las fincas, relevando aquellas que poseían pozos abandonados, pozos sin equipo de bombeo o pozos que cuenten con cañería piezométrica, para realizar mediciones de niveles piezométricos. Se seleccionaron 20 pozos debido a la factibilidad de realizar las mediciones y que se encuentren uniformemente distribuidas en el territorio. En la Figura 4.1, se observa la ubicación y distribución de los pozos seleccionados.

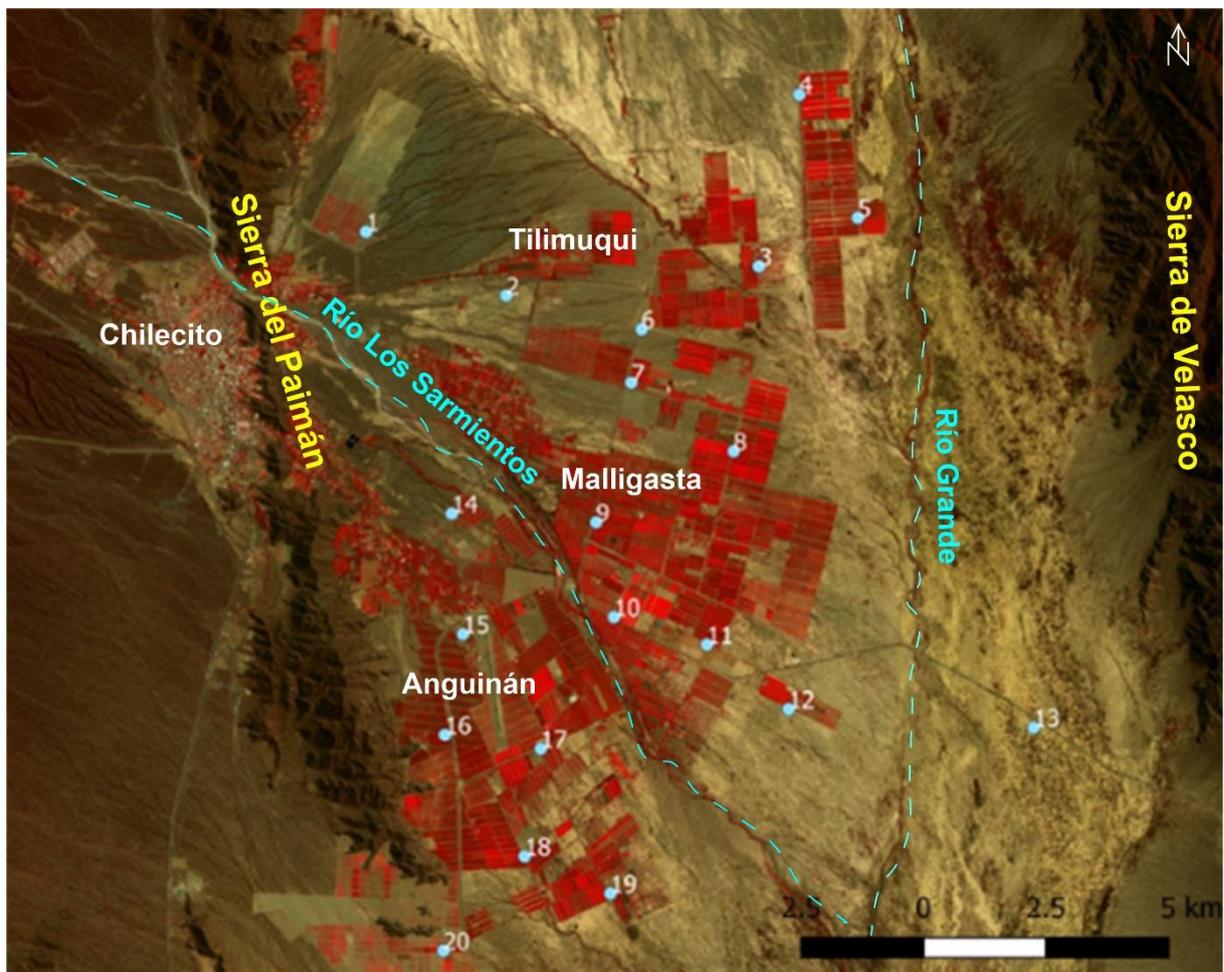


Figura 4.1: Localización de los pozos donde se realizaron las mediciones. Fuente: Imagen Sentinel 2 combinación de bandas 8-4-3. Fecha: 15/02/17.

En la Tabla 4.1 se presentan las coordenadas planas y fotografías de los pozos seleccionados para realizar las mediciones de los niveles estáticos.

Tabla 4.1: Coordenadas planas POSGAR 98 Faja 2 y fotografías de los pozos relevados.

| Pozo | Coordenadas e Información | | Imagen |
|------|---|---|--|
| 1 | <p style="text-align: center;">X 2649398</p> | <p style="text-align: center;">Y 6776308</p> |  |
| | <p>Finca en Tilimuqui: Superficie total 1.500 ha. Superficie cultivada 187,4 ha (180,13 ha Olivo y 7,27 ha Vid). Posee 5 pozos con bomba de 250 Hp y caudales entre 210 y 250 m³/h.</p> | | |
| 2 | <p style="text-align: center;">X 2652263</p> | <p style="text-align: center;">Y 6774928</p> |  |
| | <p>Finca en Tilimuqui: Superficie total 100 ha. Superficie cultivada 12 ha (4 ha Olivo, 5 ha Nogal, 1 ha Horticultura y 2 ha otros cultivos). Posee 1 pozo con bomba de 50 Hp y un caudal 56 m³/h.</p> | | |
| 3 | <p style="text-align: center;">X 2657352</p> | <p style="text-align: center;">Y 6775364</p> |  |
| | <p>Finca en Tilimuqui: Superficie total 25 ha. Superficie cultivada 17,7 ha (17,7 ha de Vid). Posee 1 pozo con bomba de 60 Hp y un caudal 90 m³/h.</p> | | |
| 4 | <p style="text-align: center;">X 2658334</p> | <p style="text-align: center;">Y 6778916</p> |  |
| | <p>Finca en Tilimuqui: Superficie total 420 ha. Superficie cultivada 246,69 ha (14,12 ha Olivo- 232,57 ha Vid). Posee 8 pozos con bomba de 100 Hp y caudales entre 80 y 120 m³/h.</p> | | |

| | | | |
|---|--|--------------|--|
| 5 | X 2659497 | Y 6776366 |  |
| | <p>Finca en Tilimuqui: Superficie total 54 ha. Superficie cultivada 29,44 ha (29,44 ha Vid). Posee 1 pozo con bomba de 60Hp y un caudal 110 m³/h.</p> | | |
| 6 | X 2654969 | Y 6774045 |  |
| | <p>Finca en Tilimuqui: Superficie total 50 ha. Superficie cultivada 0 ha. Posee 1 pozo sin funcionamiento.</p> | | |
| 7 | X 2654705 | Y 6773049 |  |
| | <p>Finca en Tilimuqui: Superficie total 50,2 ha. Superficie cultivada 33,71 ha (33,71 ha Vid). Posee 1 pozo con bomba de 100 Hp y un caudal 180 m³/h.</p> | | |
| 8 | X 2656822 | Y 6771540 |  |
| | <p>Finca en Malligasta: Superficie total 100 ha. Superficie cultivada 80,63 ha (70,71 ha Vid y 9,92 ha Olivo). Posee 2 pozos con bomba de 150 Hp y caudales entre 150 y 160 m³/h.</p> | | |

| | | | |
|----|---|--------------|--|
| 9 | X 2654242 | Y 6770165 |  |
| | Finca en Malligasta: Superficie total 27,4 ha. Superficie cultivada 22,54 ha (22,54 ha Vid). Posee 2 pozos, uno abandonado y un pozo con bomba de 75 Hp y un caudal 120 m³/h. Imagen del pozo en observación. | | |
| 10 | X 2654263 | Y 6768117 |  |
| | Finca en Malligasta: Superficie total 200 ha. Superficie cultivada 171,22 ha (171,22 ha Horticultura). Posee 8 pozos con bomba de 50/125 Hp y caudales entre 80 y 180 m³/h. Imagen de pozo 10 y 11 pertenecen a la misma finca. | | |
| 11 | X 2656144 | Y 6767500 |  |
| | Finca en Malligasta: Superficie total 200 ha. Superficie cultivada 171,22 ha (171,22 ha Horticultura). Posee 8 pozos con bomba de 50/125 Hp y caudales entre 80 y 180 m³/h. | | |
| 12 | X 2657786 | Y 6766144 |  |
| | Finca en Malligasta: Superficie total 100 ha. Superficie cultivada 65,79 ha (22,99 ha Vid, 42,8 Olivo). Posee 2 pozos con bomba de 60/90 Hp y caudales entre 100 y 150 m³/h. | | |

| | | | |
|----|---|--------------|--|
| 13 | X 2662792 | Y 6765587 |  |
| | Finca en Malligasta: Superficie total 337 ha. Superficie cultivada 1,7 ha (1,7 ha Olivo). Posee 1 pozo con bomba de 2 Hp y un caudal 1,8 m ³ /h. | | |
| 14 | X 2651010 | Y 6770359 |  |
| | Finca en Anguinán: Superficie total 45,5 ha. Superficie cultivada 26,86 ha (26,86 ha Vid). Posee 1 pozo con bomba de 150 Hp y un caudal 160 m ³ /h. | | |
| 15 | X 2651152 | Y 6767872 |  |
| | Finca en Anguinán: Superficie total 14 ha. Superficie cultivada 6 ha (6 ha de cultivos varios). Posee 1 pozo con bomba de 30 Hp y un caudal 55 m ³ /h. | | |
| 16 | X 2650743 | Y 6765802 |  |
| | Finca en Anguinán: Superficie total 335 ha. Superficie cultivada 288,16 ha (257,97 ha Vid y 30,19 ha Olivo). Posee 5 pozos con bombas de 125/150Hp y caudales entre 150 y180 m ³ /h. | | |

| | | | |
|----|---|--------------|--|
| 17 | X 2652711 | Y 6765446 |  |
| | <p>Finca en Anguinán: Superficie total 50 ha. Superficie cultivada 14 ha (14 ha Vid). Posee 2 pozos, uno abandonado y un pozo con bomba de 100 Hp y un caudal 130 m³/h. Imagen de pozo en observación.</p> | | |
| 18 | X 2652309 | Y 6763263 |  |
| | <p>Finca en Anguinán: Superficie total 50 ha. Superficie cultivada 29 ha (29 ha Vid). Posee 2 pozos, uno abandonado y un pozo con bomba de 100 Hp y un caudal 175 m³/h. Imagen del pozo en observación.</p> | | |
| 19 | X 2654054 | Y 6762436 |  |
| | <p>Finca en Anguinán: Superficie total 130 ha. Superficie cultivada 19,46 ha (19,46 ha Vid). Posee 2 pozos, uno abandonado y un pozo con bomba de 30 Hp y un caudal 55 m³/h. Imagen del pozo en observación.</p> | | |
| 20 | X 2650596 | Y 6761342 |  |
| | <p>Finca en Anguinán: Superficie total 1140 ha. Superficie cultivada 362,43 ha (156 ha Vid-Olivo 206,43 ha). Posee 12 pozos con bomba de 150 Hp y caudales de 180 m³/h.</p> | | |

Las mediciones de niveles se efectuaron con una sonda piezométrica graduada y con sensor de contacto (Figura 4.2). En el momento del relevamiento de campo, especialmente

en el mes enero (los pozos suelen encontrarse en funcionamiento continuo), razón por la cual se solicitó a los propietarios detener el bombeo por un tiempo mínimo de 8 horas, antes de realizar las mediciones de los niveles piezométricos.



Figura 4.2: Sonda Piezométrica utilizada para mediciones de niveles.

Las mediciones de niveles se efectuaron en 20 pozos que fueron georeferenciados usando un GPS portátil. Las cotas de cada obra de captación fueron determinadas con un GPS geodésico. Las mediciones de niveles se realizaron en seis campañas diferentes durante los meses de enero y julio, de los años 2015, 2016 y 2017.

Finalmente, con los datos de niveles piezométricos medidos en cada pozo, se realizaron mapas de isopiezas utilizando un software SIG para evaluar su evolución y comparar los resultados, con los estudios antecedentes publicados por Rocca et al. (1975) y Poblete y Guimaraes, (2006).

Con la finalidad de contar con una mayor cantidad de datos de las variaciones de los niveles piezométricos, se seleccionó al pozo 2 (ubicado en la estación Experimental Agropecuaria del INTA, en la localidad de Tilimuqui). En este caso, se efectuaron mediciones piezométricas en forma mensual, desde julio de 2014 a julio de 2017.

Para el estudio hidroquímico se obtuvieron muestras de agua subterránea y fueron enviadas al Laboratorio de Alta Complejidad de la Universidad Nacional de Chilecito para realizar análisis de los iones mayoritarios, participando el tesista en todo este proceso. Durante el trabajo de campo, se realizaron determinaciones de pH, temperatura, conductividad eléctrica y alcalinidad.

En la Tabla 4.2 se presentan las metodologías de análisis utilizadas.

Tabla 4.2: Analitos, métodos y metodologías aplicadas.

| Analitos | Metodología de análisis | Método estandarizado |
|-------------------------------|-------------------------|----------------------|
| Ca ²⁺ | Volumétrico | APHA 2340 C |
| Mg ²⁺ | | |
| Na ⁺ | Fotometría | SAMLA-SAGPYA,2005 |
| K ⁺ | | |
| HCO ₃ ⁻ | Volumétrico | APHA 2320 B |
| Cl ⁻ | Volumétrico | APHA 4500 B |
| SO ₄ ²⁻ | UV-Visible | APHA 4500 B |
| NO ₃ ⁻ | | |

Los resultados de los analitos, fueron representados en el diagrama Piper, con la finalidad de establecer el tipo de agua dominante desde el punto de vista geoquímico. Por otra parte, con el valor de Conductividad Eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) y el cálculo de la Relación de Absorción de Sodio (RAS), se representaron gráficamente las muestras siguiendo la metodología Riverside, para calidad del agua de riego de plantaciones.

Objetivo específico 2: Relacionar el total de pozos existentes, con los caudales extraídos, la superficie cultivada y el sistema de riego en las colonias agrícolas de Tilimuqui, Malligasta y Anguinán.

Para alcanzar este objetivo, se identificaron los emprendimientos agrícolas; midiendo la superficie cultivada total, con el programa Google Earth Pro.

Por otra parte, se realizaron encuestas a los productores de cada una de las colonias con la finalidad de obtener información actualizada y precisa del número de pozos existentes; de aquellos que se encuentran en funcionamiento, los que fueron abandonados y los nuevos proyectados. Además, se recabó información sobre el tipo de sistema de riego utilizado, la lámina de agua que aplican para satisfacer las necesidades de los cultivos, superficie total de cada propiedad, la cantidad de hectáreas cultivadas y el tipo de cultivos.

Los datos fueron analizados mediante el uso de hojas de cálculo, para poder establecer el porcentaje de incremento en el número de pozos y de la superficie cultivada.

Objetivo específico 3: Cuantificar la disminución de reserva de agua subterránea por explotación agropecuaria en las colonias agrícolas de Tilimuqui, Malligasta y Anguinán, entre los periodos 1973 – 2005, 2005 – 2017 y 1973 – 2017.

Para cuantificar la disminución de reserva se realizaron mapas para observar la evolución de los niveles piezométricos y compararlos con datos antecedentes realizados por autores como Rocca et al. (1975) y Poblete y Guimaraes, (2006). De esta manera, se obtuvo la diferencia de volumen de material saturado en los periodos 1973 – 2005, 2005 – 2017 y 1973 – 2017.

La disminución del espesor saturado (Δh), se multiplicó por la porosidad eficaz (m_e), lo que permitió estimar la pérdida de reserva de agua subterránea en los periodos mencionados.

CAPÍTULO 5: RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados de la tesis subdivididos en los ítems 5.1 Hidrodinámica, 5.2 Hidroquímica, 5.3 Utilización del recurso hídrico y 5.4 Perdida de reserva de agua subterránea.

5.1 HIDRODINÁMICA

En el apartado Hidrodinámica se presentan los ítems 5.1.1. Niveles Estáticos, 5.1.2. Análisis del Pozo 2, 5.1.3. Mapas de isopiezas y líneas de flujo, 5.1.4. Mapas de Isoprofundidad del Agua Subterránea.

5.1.1. Niveles Estáticos

Como ya se ha señalado, durante el desarrollo de este trabajo se efectuaron mediciones de niveles en 20 pozos seleccionados, con la finalidad de analizar si existen o no fluctuaciones piezométricas (Tabla 5.1). Las mediciones se realizaron durante tres años consecutivos, en los meses de enero y julio. Si bien se asume que la frecuencia de mediciones no es la óptima (mínimamente se deberían tener registros mensuales y, en realidad, se tendrían que hacer mediciones diarias) y los valores podrían estar afectados por multiplicidad de factores (fluctuaciones naturales debido a la época del año, recarga localizada, modificación de niveles por bombeos cercanos, escaso tiempo de recuperación en pozos que estaban en explotación, etc.); las condiciones de financiamiento para realizar esta tarea y los alcances de este trabajo, determinaron que se deba seleccionar un momento del ciclo hidrológico para efectuar estas mediciones puntuales.

Tabla 5.1: Niveles estáticos medidos en pozos durante este trabajo (2015 a 2017).

| Pozo | Niveles estáticos (m) | | | | | |
|------|-----------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | Enero 2015 | Julio 2015 | Enero 2016 | Julio 2016 | Enero 2017 | Julio 2017 |
| 1 | 155,47 | 155,15 | 155,96 | 155,44 | 156,29 | 156,22 |
| 2 | 98,90 | 98,13 | 99,54 | 98,73 | 99,97 | 99,41 |
| 3 | 48,53 | 44,27 | 48,81 | 44,70 | 50,78 | 44,97 |
| 4 | 45,15 | 42,60 | 48,70 | 42,86 | 49,58 | 43,11 |
| 5 | 37,18 | 36,12 | 39,16 | 36,42 | 41,56 | 36,61 |
| 6 | 64,08 | 62,47 | 64,32 | 63,03 | 65,20 | 63,60 |
| 7 | 66,87 | 65,23 | 67,50 | 66,88 | 70,99 | 67,97 |
| 8 | 50,26 | 47,60 | 50,63 | 48,18 | 54,29 | 49,32 |
| 9 | 68,64 | 66,93 | 70,87 | 67,56 | 75,45 | 68,48 |
| 10 | 64,81 | 56,35 | 68,27 | 56,15 | 65,71 | 56,32 |
| 11 | 46,37 | 43,54 | 44,97 | 43,65 | 49,00 | 43,83 |
| 12 | 29,30 | 28,10 | 32,38 | 28,66 | 34,47 | 29,64 |
| 13 | 20,62 | 20,81 | 20,89 | 21,11 | 21,09 | 21,32 |
| 14 | 95,70 | 94,45 | 96,21 | 94,57 | 96,88 | 95,45 |
| 15 | 74,47 | 73,04 | 74,58 | 72,96 | 75,54 | 73,53 |
| 16 | 73,54 | 68,77 | 73,01 | 68,92 | 74,33 | 69,63 |
| 17 | 56,10 | 53,65 | 54,39 | 53,88 | 57,03 | 54,24 |
| 18 | 55,35 | 52,75 | 56,02 | 53,81 | 57,55 | 54,44 |
| 19 | 33,34 | 33,06 | 34,30 | 33,84 | 35,35 | 34,21 |
| 20 | 62,49 | 61,82 | 62,77 | 62,15 | 64,16 | 63,56 |

Si se analizan los datos correspondientes a la misma época de medición (enero y julio) entre los años 2015 y 2017, considerando los máximos y mínimos valores del nivel del agua; se puede observar la magnitud de la variación (Tabla 5.2). De este simple análisis surge que las mayores pérdidas de espesor saturado (Δh) se producen en enero (coincidente con la mayor demanda de agua para riego de plantaciones); mientras que para el mes de julio, la magnitud de las pérdidas, es notablemente menor.

Tabla 5.2: Niveles estáticos y variación del espesor saturado.

| Pozo | Niveles estáticos (m) Y Variaciones de Δh (m) | | | | | | | |
|------|---|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | Enero 2015 | Enero 2016 | Enero 2017 | Δh | Julio 2015 | Julio 2016 | Julio 2017 | Δh |
| 1 | 155,47 | 155,96 | 156,29 | -0,82 | 155,15 | 155,44 | 156,22 | -1,07 |
| 2 | 98,90 | 99,54 | 99,97 | -1,07 | 98,13 | 98,73 | 99,41 | -1,28 |
| 3 | 48,53 | 48,81 | 50,78 | -2,25 | 44,27 | 44,70 | 44,97 | -0,70 |
| 4 | 45,15 | 48,70 | 49,58 | -4,43 | 42,60 | 42,86 | 43,11 | -0,51 |
| 5 | 37,18 | 39,16 | 41,56 | -4,38 | 36,12 | 36,42 | 36,61 | -0,49 |
| 6 | 64,08 | 64,32 | 65,20 | -1,12 | 62,47 | 63,03 | 63,60 | -1,13 |
| 7 | 66,87 | 67,50 | 70,99 | -4,12 | 65,23 | 66,88 | 67,97 | -2,74 |
| 8 | 50,26 | 50,63 | 54,29 | -4,03 | 47,60 | 48,18 | 49,32 | -1,72 |
| 9 | 68,64 | 70,87 | 75,45 | -6,81 | 66,93 | 67,56 | 68,48 | -1,55 |
| 10 | 64,81 | 68,27 | 65,71 | -0,90 | 56,35 | 56,15 | 56,32 | -0,20 |
| 11 | 46,37 | 44,97 | 49,00 | -2,63 | 43,54 | 43,65 | 43,83 | -0,29 |
| 12 | 29,30 | 32,38 | 34,47 | -5,17 | 28,10 | 28,66 | 29,64 | -1,54 |
| 13 | 20,62 | 20,89 | 21,09 | -0,47 | 20,81 | 21,11 | 21,32 | -0,51 |
| 14 | 95,70 | 96,21 | 96,88 | -1,18 | 94,45 | 94,57 | 95,45 | -1,00 |
| 15 | 74,47 | 74,58 | 75,54 | -1,07 | 73,04 | 72,96 | 73,53 | -0,57 |
| 16 | 73,54 | 73,01 | 74,33 | -1,32 | 68,77 | 68,92 | 69,63 | -0,86 |
| 17 | 56,10 | 54,39 | 57,03 | -2,64 | 53,65 | 53,88 | 54,24 | -0,59 |
| 18 | 55,35 | 56,02 | 57,55 | -2,20 | 52,75 | 53,81 | 54,44 | -1,69 |
| 19 | 33,34 | 34,30 | 35,35 | -1,05 | 33,06 | 33,84 | 34,21 | -1,15 |
| 20 | 62,49 | 62,77 | 64,16 | -1,67 | 61,82 | 62,15 | 63,56 | -1,74 |

Cuando se comparan los niveles estáticos de los años 2015 a 2017, con los datos antecedentes (Rocca et al., 1975; Poblete y Guimaraes, 2006) en aquellos pozos que fueron relevados y medidos en los tres estudios (exceptuando los pozos 1, 5, 13 y 20 que no contaban con datos para realizar comparaciones); se advierte que existe una profundización generalizada de los niveles estáticos en la zona de las colonias agrícolas (Tabla 5.3). Para terminar de comprender el contexto de este análisis comparativo, se debe indicar que los valores de niveles estáticos señalados por Rocca et al., (1975), corresponden a datos puntuales de un único relevamiento; los realizados por Poblete y Guimaraes (2006) a mediciones de distintas épocas del año. Las que se efectuaron en este trabajo, como se señaló corresponden al mes de enero y julio entre los años 2015 a 2017, eligiendo (para los cálculos de variaciones de espesor saturado) los valores menos negativos (correspondiente al mes de julio) puesto que se considera que en esta época los niveles estáticos se encuentran menos influenciados por el bombeo de pozos.

A pesar de que las variaciones de espesor saturado son evidentes, igualmente se debe tener cierta cautela ya que los registros de niveles estáticos fueron obtenidos siguiendo una metodología estricta de mediciones pero que, como se sabe, deberían ser continuas en el tiempo y con la mayor periodicidad posible.

Tabla 5.3: Comparación de niveles estáticos y variaciones de espesor saturado.

| Colonia | Pozo | Niveles Estáticos (m) | | | | | Variaciones de Δh (m) | | | | |
|------------|------|-----------------------|--------|-------|-------|-------|-------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | | *1973 | **2005 | 2015 | 2016 | 2017 | 1973-2005 | 2005-2017 | 2015-2016 | 2016-2017 | 1973-2017 |
| Tilimuqui | 2 | 76,30 | 80,00 | 98,13 | 98,73 | 99,41 | -3,70 | -19,41 | -0,60 | -0,68 | -23,11 |
| | 3 | 32,00 | 43,70 | 44,27 | 44,70 | 44,97 | -11,7 | -1,27 | -0,43 | -0,27 | -12,97 |
| | 4 | 37,50 | 42,80 | 42,60 | 42,86 | 43,11 | -5,30 | -0,31 | -0,26 | -0,25 | -5,61 |
| | 6 | 44,00 | 61,50 | 62,47 | 63,03 | 63,60 | -17,5 | -2,1 | -0,56 | -0,57 | -19,60 |
| | 7 | 47,50 | 61,80 | 65,23 | 66,88 | 67,97 | -14,3 | -6,17 | -1,65 | -1,09 | -20,47 |
| Malligasta | 8 | 34,40 | 48,00 | 47,60 | 48,18 | 49,32 | -13,6 | -1,32 | -0,58 | -1,14 | -14,92 |
| | 9 | 50,00 | 67,60 | 66,93 | 67,56 | 68,48 | -17,6 | -0,88 | -0,63 | -0,92 | -18,48 |
| | 10 | 40,60 | 54,80 | 56,35 | 56,15 | 56,32 | -14,2 | -1,52 | +0,20 | -0,17 | -15,72 |
| | 11 | 30,90 | 40,00 | 43,54 | 43,65 | 43,83 | -9,10 | -3,83 | -0,11 | -0,18 | -12,93 |
| | 12 | 22,60 | 33,40 | 28,10 | 28,66 | 29,64 | -10,8 | +3,76 | -0,56 | -0,98 | -7,04 |
| Anguinán | 14 | 78,30 | 87,00 | 94,45 | 94,57 | 95,45 | -8,70 | -8,45 | -0,12 | -0,88 | -17,15 |
| | 15 | 56,40 | 64,00 | 73,04 | 72,96 | 73,53 | -7,60 | -9,53 | +0,08 | -0,57 | -17,13 |
| | 16 | 48,40 | 65,30 | 68,77 | 68,92 | 69,63 | -16,9 | -4,33 | -0,15 | -0,71 | -21,23 |
| | 17 | 34,10 | 39,30 | 53,65 | 53,88 | 54,24 | -5,20 | -14,94 | -0,23 | -0,36 | -20,14 |
| | 18 | 30,50 | 44,60 | 52,75 | 53,81 | 54,44 | -14,1 | -9,84 | -1,06 | -0,63 | -23,94 |
| | 19 | 20,00 | 31,70 | 33,06 | 33,84 | 34,21 | -11,7 | -2,51 | -0,78 | -0,37 | -14,21 |

Fuentes: * Rocca et al. (1975); **Poblete y Guimaraes (2006); Resto de años, Datos Propios.

Al comparar los niveles estáticos entre los años 1973 y 2005 se advierte una profundización del nivel de agua en toda la zona de estudio. La máxima variación de espesor saturado se encuentra en el Pozo 9 (Colonia Malligasta), con -17,60 m y la mínima en el Pozo 2 (Colonia Tilimuqui) con -3,70 m. La variación media del espesor saturado en la región fue de aproximadamente -11,40 m.

Para el periodo 2005 – 2017 se advierte una profundización del nivel de agua en toda la región. La máxima variación del espesor saturado se encuentra en el Pozo 2 (Colonia Tilimuqui), con -19,41 m; mientras que la mínima se registró en el Pozo 4 (Colonia Tilimuqui), con -0,31 m. En el Pozo 12 (Colonia Malligasta), se produjo un ascenso del nivel (+ 3,76 m), La variación media del espesor saturado en la región fue de -5,17 m.

Cuando se comparan los niveles estáticos entre los años 2015 y 2016 se observa una profundización del nivel del agua en casi toda la región (exceptuando los pozos 10 y 15). La máxima variación es de -1,65 m, registrada en el Pozo 7 (Colonia Tilimuqui) y la mínima fue de -0,11 en el Pozo 11 (Colonia Malligasta). En el Pozo 10 (Colonia Malligasta) y en el Pozo 15 (Colonia Anguinán), se produjeron ascensos de los niveles (+ 0,20 y + 0,08 m, respectivamente). La variación media del espesor saturado fue de -0,45 m.

Para el periodo 2016 – 2017 se advierte una profundización del nivel de agua en toda la región. La máxima variación del espesor saturado se encuentra en el Pozo 8 (Colonia Malligasta), con -1,14 m; mientras que la mínima se registró en el Pozo 10 (Colonia Malligasta), con -0,17 m. La variación media del espesor saturado en la región fue de -0,61 m.

Por último, al analizar los datos del ciclo 1973 – 2017, se observa una profundización generalizada de los niveles de agua en toda la región. En este caso, la variación de mayor magnitud se encuentra en el Pozo 18 (Colonia Anguinán), con un valor de -23,94 m; mientras que el mínimo se presenta en el Pozo 4 (Colonia Tilimuqui), con un valor de -5,61 m. La variación media del espesor saturado en la región fue de -16,5 m.

5.1.2. Análisis del Pozo 2

El Pozo 2 se encuentra localizado en la Estación Experimental Agropecuaria (EEA) de Chilecito, del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) y se utilizó para realizar mediciones mensuales de los niveles de agua entre los meses de julio de los años 2014 y 2017 (Figura 5.1). Esta obra de captación se encuentra a una distancia de aproximadamente 500 m de otros pozos, lo que permite suponer que no existen interferencias o son mínimas. Se debe tener presente que el pozo se utiliza para el riego de plantaciones del INTA (12 hectáreas), razón por la cual, las mediciones de niveles se realizaron siempre luego de un tiempo de reposo (sin bombeo) mínimo de 24 horas.

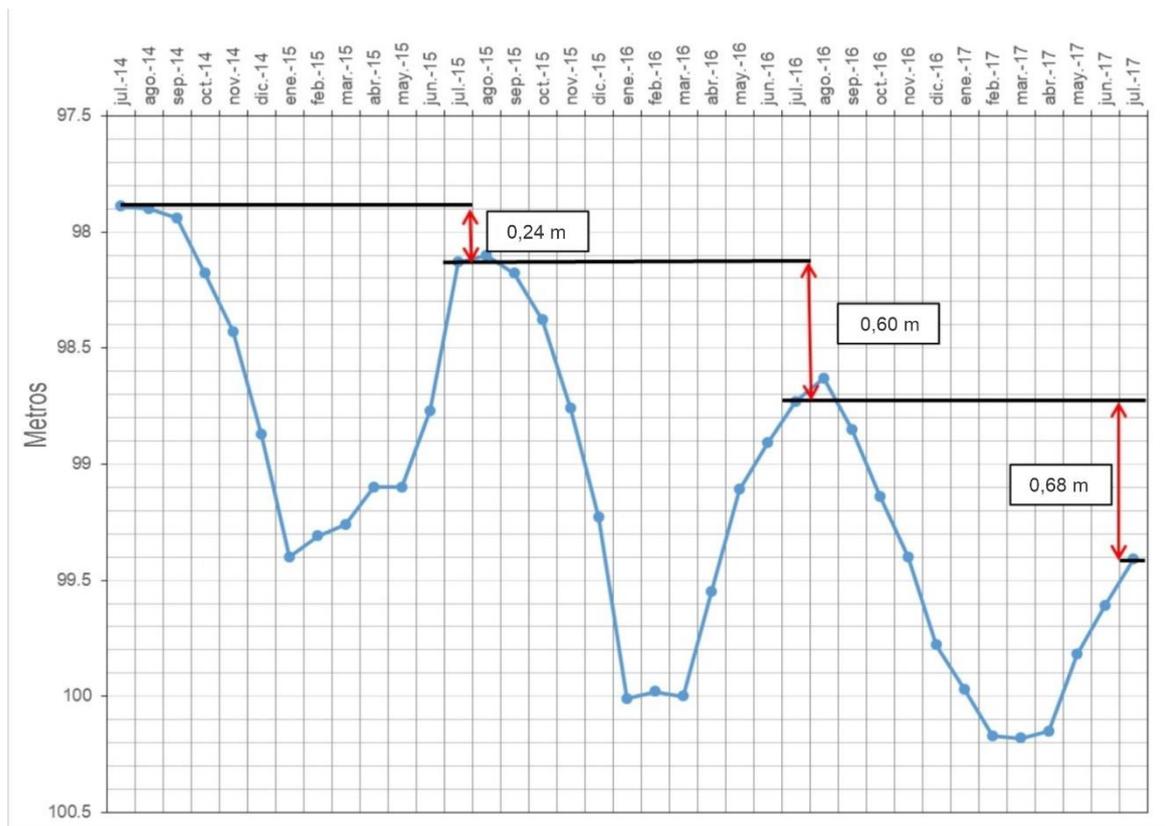


Figura 5.1: Variaciones del nivel piezométrico en el Pozo 2 del INTA EEA, Chilecito

De acuerdo a estos datos, se puede señalar que desde julio 2014 – julio 2015, el nivel estático se profundizó 0,24 m. Entre julio 2015 – julio 2016, el nivel se profundizó 0,60 m y entre julio 2016 – julio 2017 la profundización fue de 0,68 m. De esta manera, la disminución total de espesor saturado en este ciclo fue de 1,52 m. También se puede advertir que durante la época de riego de plantaciones (septiembre a marzo), se producen las mayores profundizaciones de los niveles de agua y, luego (finalizada la explotación), los niveles comienzan a ascender; pero no alcanzan los niveles originales, quedando así un Δh de diferente magnitud que, seguramente está vinculado a la tasa de extracciones de agua y, muy posiblemente a la marcha interanual de la recarga.

5.1.3. Mapas de Isopiezas y Líneas de Flujo

Como se señaló, en este trabajo se realizan mapas de isopiezas para la región de las colonias agrícolas Tilimuqui, Malligasta y Anguinán, sobre la base de datos piezométricos relevados en 20 pozos distribuidos en esta región, durante tres años consecutivos (2015, 2016 y 2017). Posteriormente, estos mapas fueron comparados con los realizados por Rocca et al. (1975) y Poblete y Guimaraes (2006), para tratar de observar si existen modificaciones en el trazado de las equipotenciales y las líneas de flujo.

Teniendo en cuenta que, tanto Rocca et al. (1975) como Poblete y Guimaraes (2006), realizaron mapas de isopiezas regionales del Valle Antinaco – Los Colorados (Tilimuqui, Malligasta, Anguinán, Nonogasta y Catinzaco), con datos de niveles piezométricos provenientes de un número muy superior de pozos a los relevados en este trabajo, se debe señalar que es esperable que existan diferencias entre la configuración de las curvas originales y las que se presentan en este estudio, especialmente en aquellos sectores donde puede existir relación entre el agua superficial y el agua subterránea.

Para comprender el contexto que se señaló anteriormente, se transcribe textualmente lo que Rocca et al. (1975) interpreta: *Se advierte que el flujo subterráneo en la zona está influenciado por un aporte importante procedente desde el Norte que ingresa al sector de Tilimuqui. Más hacia el Sur se ve la influencia de los aportes superficiales y subsuperficiales a través del cauce y subálveo del río Los Sarmientos, que le confieren al flujo subterráneo una dirección de Noroeste a Sureste en lo que es la colonia de Malligasta. En la colonia Anguinán la dirección del flujo es netamente de Nor-Noreste a Sur-Suroeste, observándose una distorsión de las curvas atribuida a la explotación existente.* Rocca et al. (1975), realiza el mapa de isopiezas con la información de niveles piezométricos de 121 pozos.

En el mismo sentido, se transcribe textualmente lo señalado por Poblete y Guimaraes (2006): *En este mapa, la morfología de las curvas muestra el flujo predominante proveniente del Noroeste, que ingresa a la zona a través del álveo y subálveo del río Los Sarmientos; notándose además que, al llegar al área con acuíferos semiconfinado y confinados, se aprecia la distorsión ocasionada por la explotación intensa. En el sector de la colonia Tilimuqui se observa que los flujos tienden a concentrarse debido a la explotación localizada; similar situación se presenta en el sector Este de la Colonia Malligasta, donde la extracción de agua subterránea es mayor aún. En la colonia Anguinán la dirección del flujo es netamente de Norte a Sur, con divergencia al ingresar y una concentración de los mismos en el sector Sur de la zona cultivada.* Poblete y Guimaraes (2006), realizan el mapa de isopiezas con la información de niveles piezométricos de 265 pozos.

Debido a la situación descrita, en el presente trabajo se optó realizar un mapa de isopiezas de la zona de estudio, utilizando exclusivamente los 20 pozos seleccionados para el estudio. De esta manera, una vez identificada cada obra de captación con la cota topográfica más ajustada, se asignaron los datos piezométricos originales que indicaban Rocca et al. (1975) y Poblete y Guimaraes (2006) y se procedió a construir los respectivos mapas de isopiezas que, por lo expresado anteriormente, representarán una versión simplificada de los mapas originales, pero que podrán ser comparados con los datos actuales, bajo un mismo criterio constructivo de líneas equipotenciales.

Año 1973

En la Figura 5.2 se presenta el mapa de isopiezas de Tilimuqui, Malligasta y Anguinán para el año 1973. Se observa que las líneas equipotenciales se disponen con rumbo general NE-SO. En el extremo NO se encuentra la curva de 890 m sobre el nivel del mar (m s.n.m.) y en el sector Sur, la de 850 m s.n.m. En el extremo SO, en inmediaciones de los pozos 15, 16 y 20, las líneas equipotenciales sugieren que se disponen en forma perpendicular a los afloramientos rocosos que se encuentran en ese lugar. El flujo del agua subterránea presenta una componente principal hacia el SE coincidente (en parte) con la dirección del escurrimiento superficial del río Los Sarmientos y la morfología del abanico fluvial. El área de recarga principal se localizaría en el NO (fuera de la zona de estudio) y la zona de descarga en el sector más austral de las colonias agrícolas.

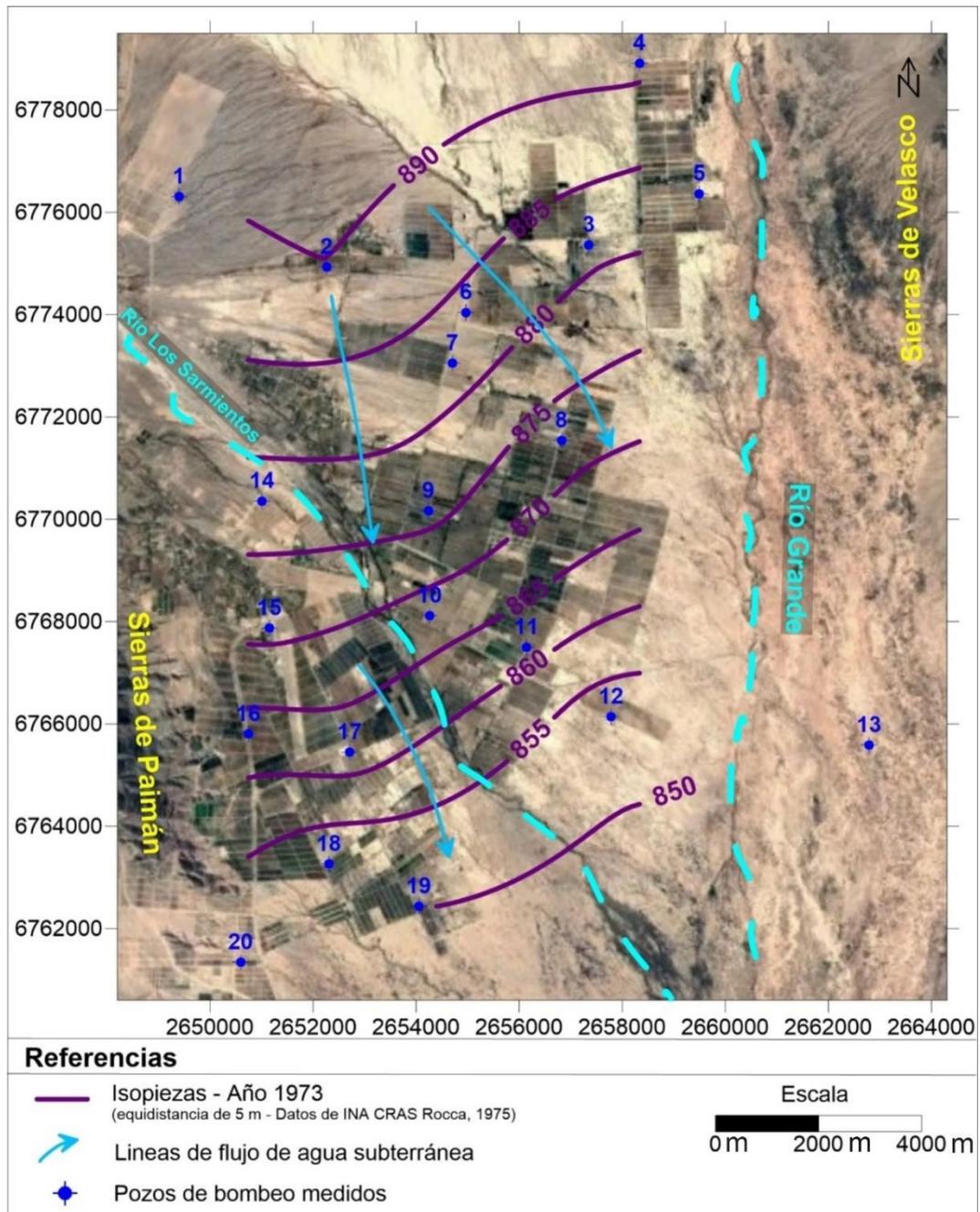


Figura 5.2: Isopiezas correspondientes al año 1973. Elaboración sobre la base de datos de Rocca et al. (1975).

Año 2005

En la Figura 5.3 se presenta el mapa de isopiezas de la zona de estudio para el año 2005. Si bien se observa una disposición similar de las curvas isopiezas a las del año 1973; se presentan algunos cambios en la morfología de las equipotenciales, especialmente en la curva de 855 m s.n.m. Otro cambio notable es que en el sector Norte los niveles piezométricos se profundizaron aproximadamente unos 5 m y, en la zona Sur, unos 12 m. Las direcciones de flujo del agua subterránea son similares a las del año 1973 en la zona media y norte; mientras que se observan modificaciones en la zona SO.

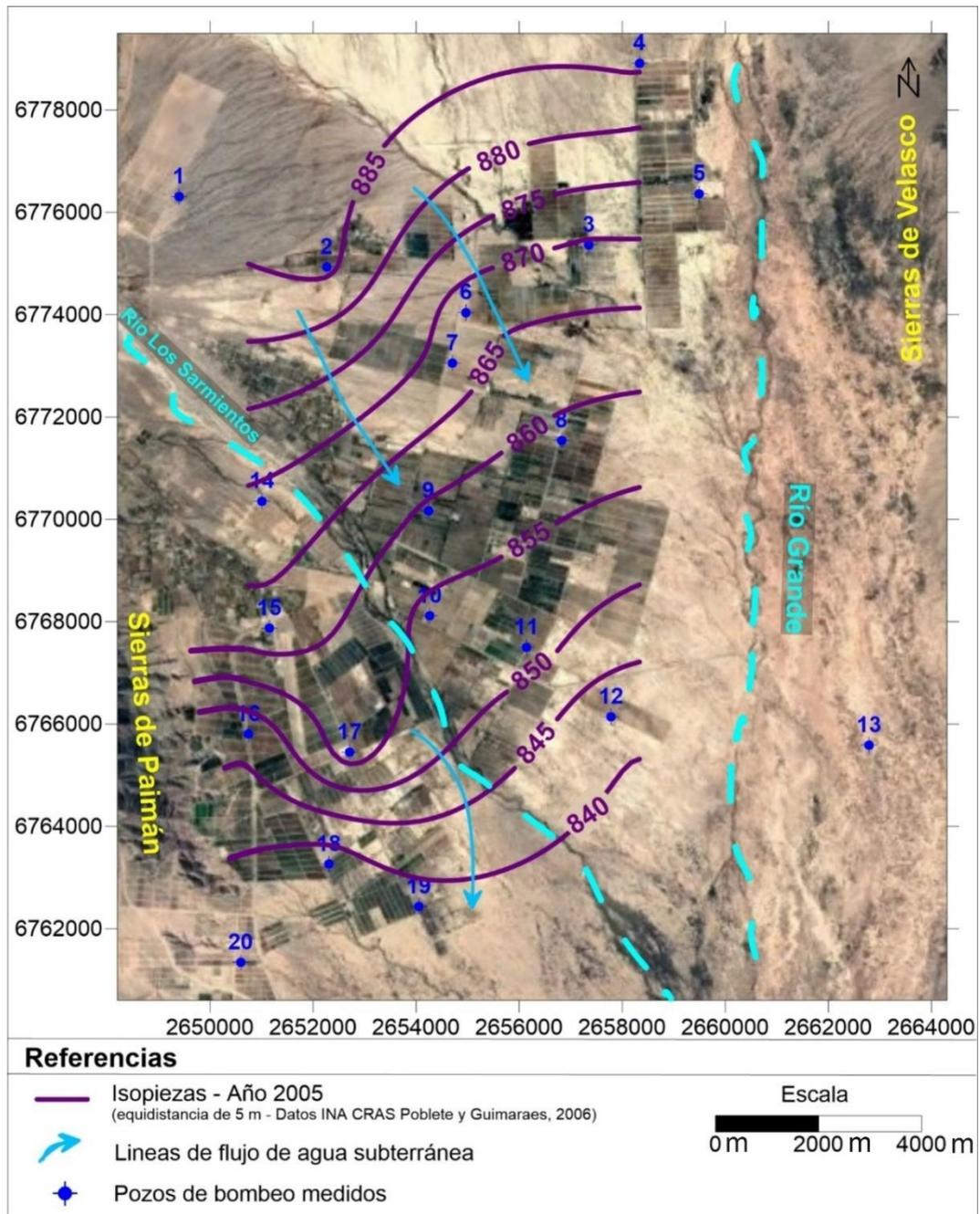


Figura 5.3: Isopiezias correspondiente al año 2005. Elaboración sobre la base de datos de Poblete y Guimaraes, (2006).

Año 2017

En la Figura 5.4 se presenta el mapa de isopiezias del año 2017. Si se comparan los datos con respecto al año 1973, los niveles piezométricos descendieron (en 44 años), 22 m en la zona Norte y 15 m en la zona Sur. Las curvas de isopiezias, a diferencia de los años 1973 y 2005, se disponen en este caso, con rumbo general Oeste – Este en casi toda la zona de estudio. También se advierte en el sector SO (pozos 18, 19 y 20) la distorsión de las isolíneas, coincidente con una zona donde se han construido una importante cantidad de pozos en los últimos años, debido a la instalación de nuevas fincas. El flujo subterráneo, con componente general del flujo hacia el Sur – Sudeste; es claramente modificado en la zona SO, cambiando su dirección hacia el SO.

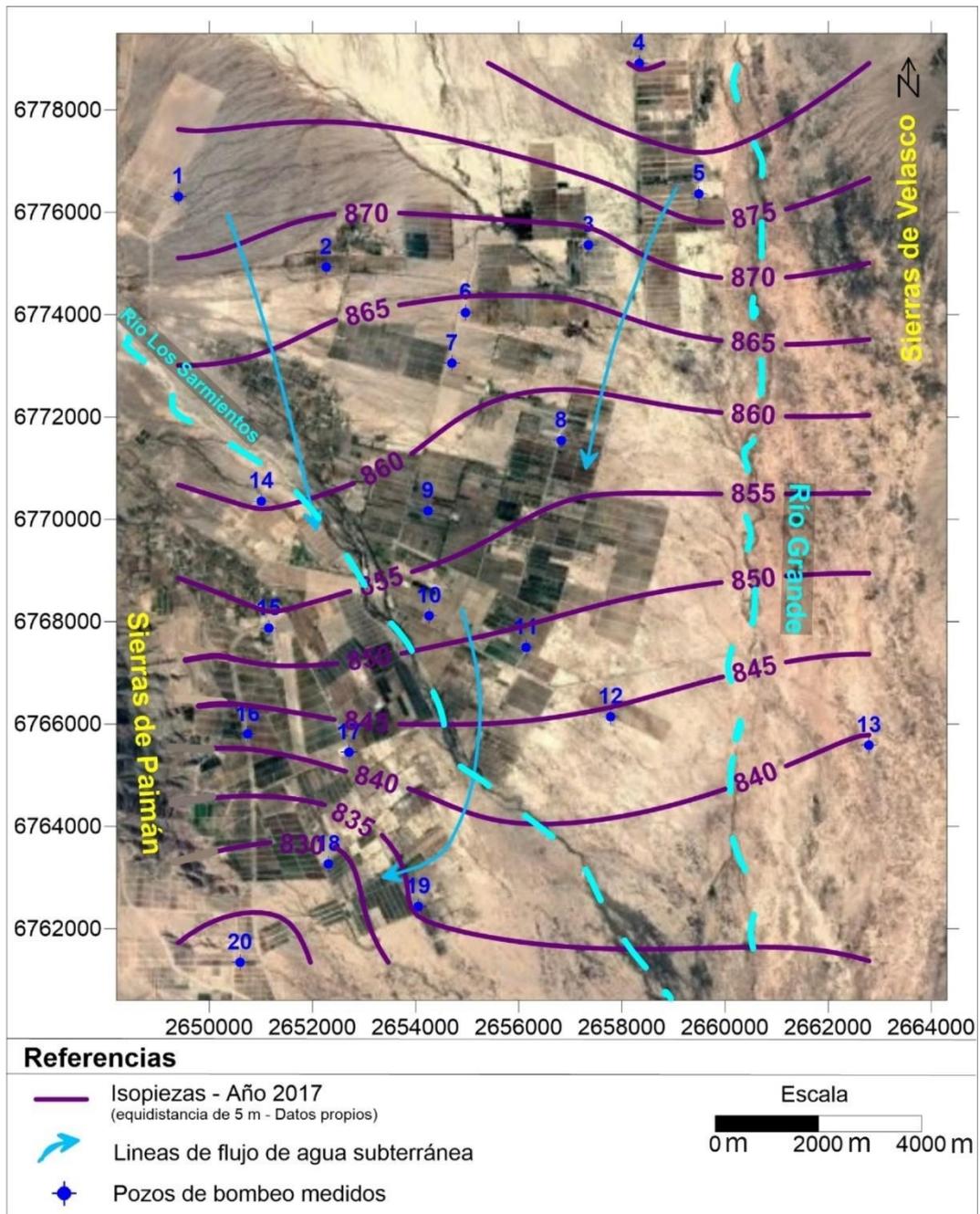


Figura 5.4: Isopezas correspondiente al año 2017.

5.1.4. Mapas de Isopropundidad de Agua Subterránea

Como parte del estudio que se aborda en este trabajo, se realizaron mapas de igual profundidad del agua subterránea en la zona de las colonias agrícolas Tilimuqui, Malligasta y Anguinán, sobre la base de datos de niveles de agua relevados en 20 pozos distribuidos en esta región, durante tres años consecutivos (2015, 2016 y 2017). Posteriormente, estos mapas fueron comparados con los realizados por Rocca et al. (1975) y Poblete y Guimaraes (2006), para tratar de observar si existen modificaciones en la profundidad del agua local o regionalmente.

Teniendo en cuenta que, tanto Rocca et al. (1975) como Poblete y Guimaraes (2006), realizaron mapas de isopropundidad del agua subterránea regionales del Valle Antinaco – Los Colorados (Tilimuqui, Malligasta, Anguinán, Nonogasta y Catinzaco), con datos provenientes de un número muy superior de pozos a los relevados en este trabajo, se debe señalar que es

esperable que existan diferencias entre la configuración de las curvas originales y las que se presentan en este estudio. Los mapas de isoprofundidad ofrecen la ventaja de interpretar rápida e intuitivamente la profundidad a la que se encuentra el agua bajo la superficie del suelo, por lo que suelen ser de utilidad para conocer zonas donde el agua se encuentra a profundidades someras o profundas, asociarlos a zonas donde los costos de bombeo serán mayores o menores, etc. También suelen presentar ventajas desde el punto de vista educativo, especialmente cuando los técnicos deben “mostrar” algunos aspectos vinculados al agua subterránea a un público como productores agrícolas, ganaderos o usuarios de agua para consumo humano que, pueden, no comprender totalmente un mapa de isopiezas.

Año 1973

En la Figura 5.5 se visualizan de color azul las isolíneas de profundidad de agua subterránea del año 1973 realizado por Rocca et al. (1975). Se considera esta fecha como punto inicial de referencia de los niveles estáticos en la zona de estudio. Se observa que las profundidades de los niveles de agua subterránea están vinculados al desarrollo del abanico aluvial de la quebrada del río Los Sarmientos el cual ingresa por el sector Noroeste.

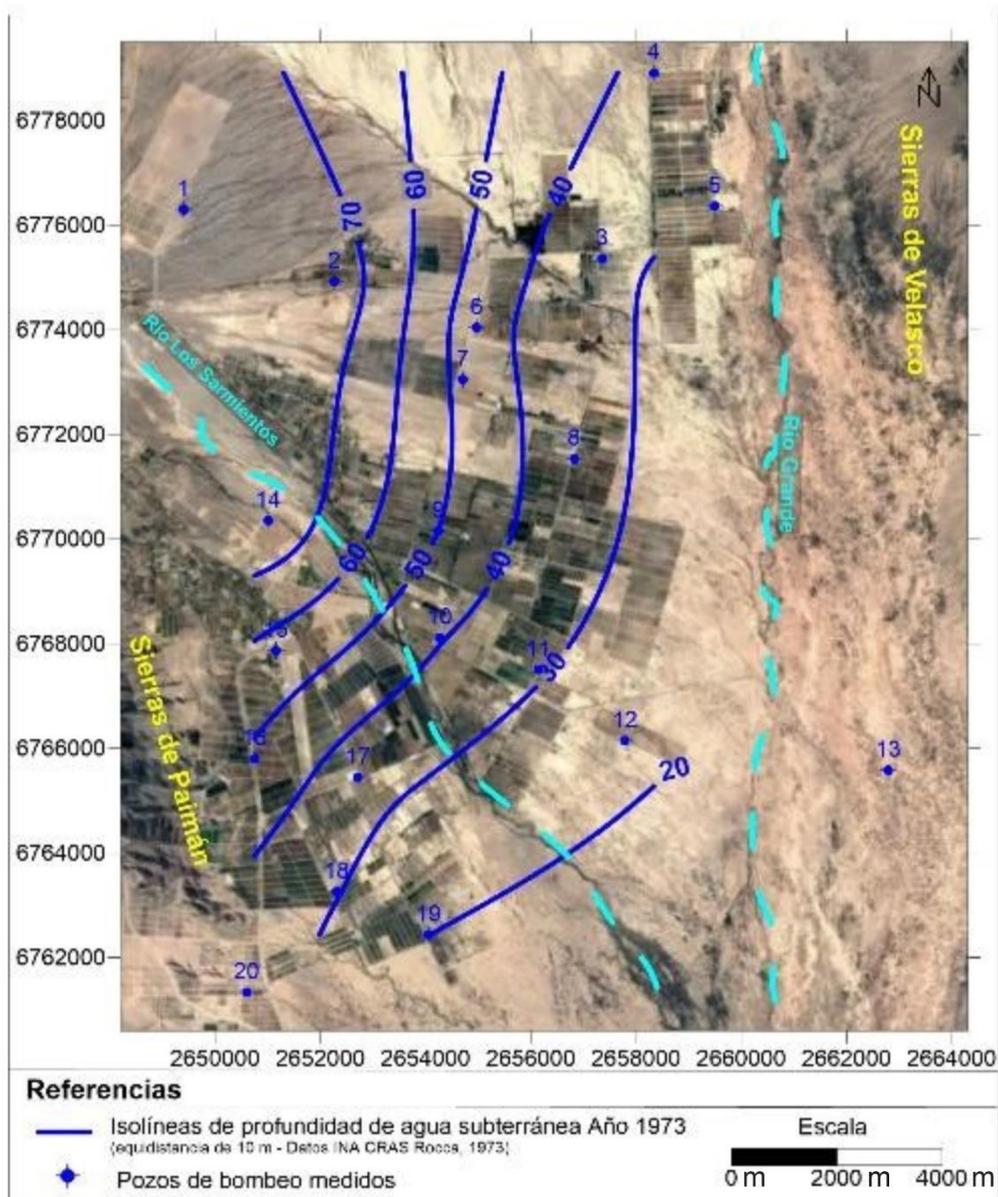


Figura 5.5: Mapa de igual profundidad de agua subterránea para el año 1973. Elaboración sobre la base de datos de Rocca et al. (1975).

Los niveles estáticos en el año 1973, en las fincas de Tilimuqui, Malligasta y Anguinán se encuentran entre 70 m de profundidad en la zona del ápice del abanico aluvial y a 30 m de profundidad en la zona Sur. Se aclara que se tomará como referencia del ápice del abanico la isolínea que pasa por el Pozo 2, y para el área distal la isolínea que pasa por el Pozo 11.

Año 2005

En la Figura 5.6 se observa las Isolíneas de profundidad de agua subterránea del año 2005, realizadas por Poblete y Guimaraes (2006). En la zona Norte el nivel estático se localizaba a los 80 m de profundidad; mientras que, en la zona Sur, se encontraba a 40 m de profundidad. Hacia el sector Suroeste del área de estudio, se advierten distorsiones de las isolíneas que, muy posiblemente, se deben a mediciones de pozos en bombeo (nivel dinámico) o que se encontraban en proceso de recuperación.

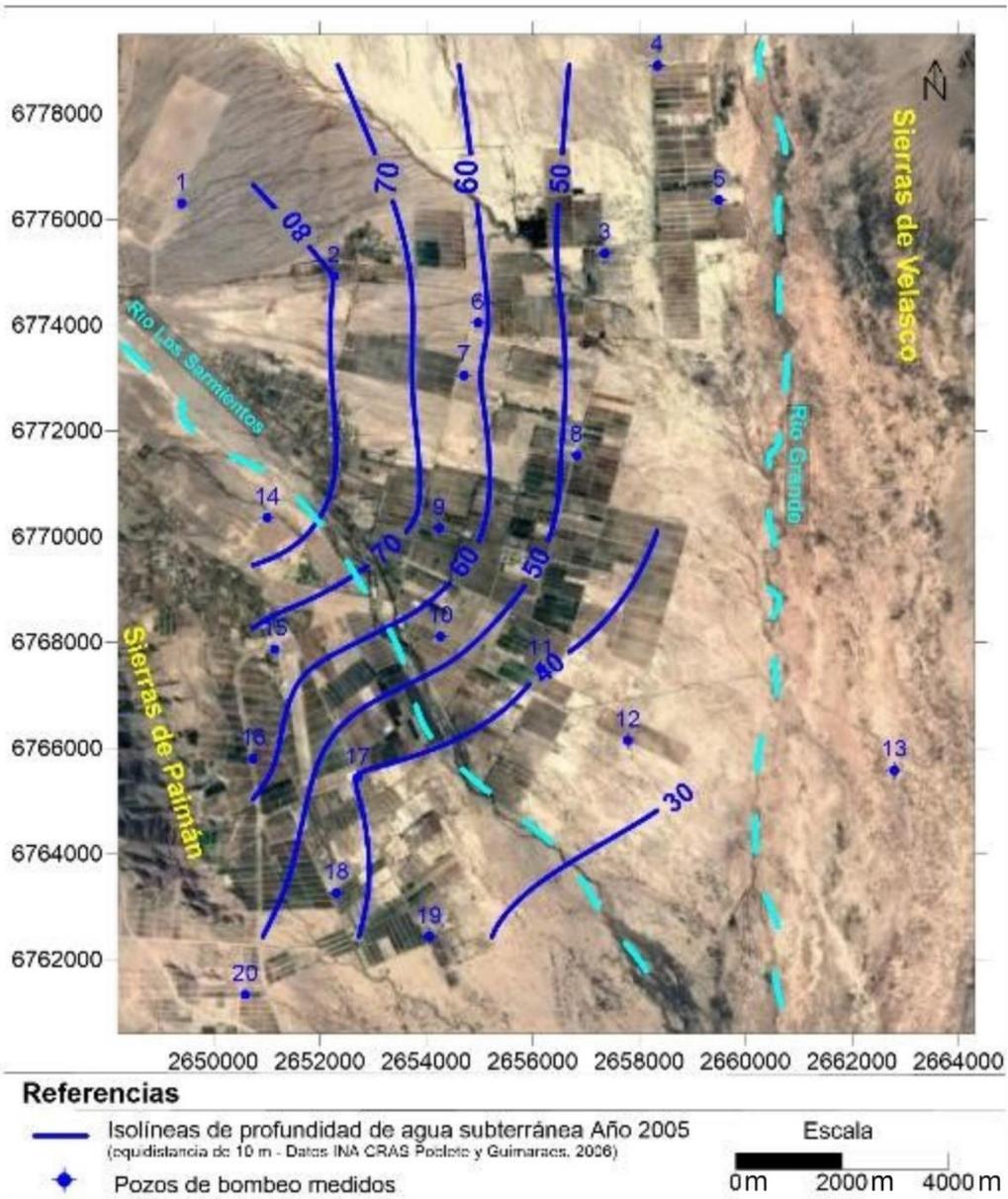


Figura 5.6: Mapa de igual profundidad de agua subterránea para el año 2005. Elaboración sobre la base de datos de Poblete y Guimaraes (2006).

Año 2017

En la Figura 5.7 se muestra la profundidad del agua subterránea para el año 2017. Se pueden observar notables cambios respecto a los años 1973 y 2005. En la zona Norte (Pozo 2), la profundización del agua fue de 30 y 20 metros, respectivamente. En la zona Sur (posición del Pozo 11), el nivel de agua se profundizó de 30 m en el año 1973 a unos 43 m en el año 2017.

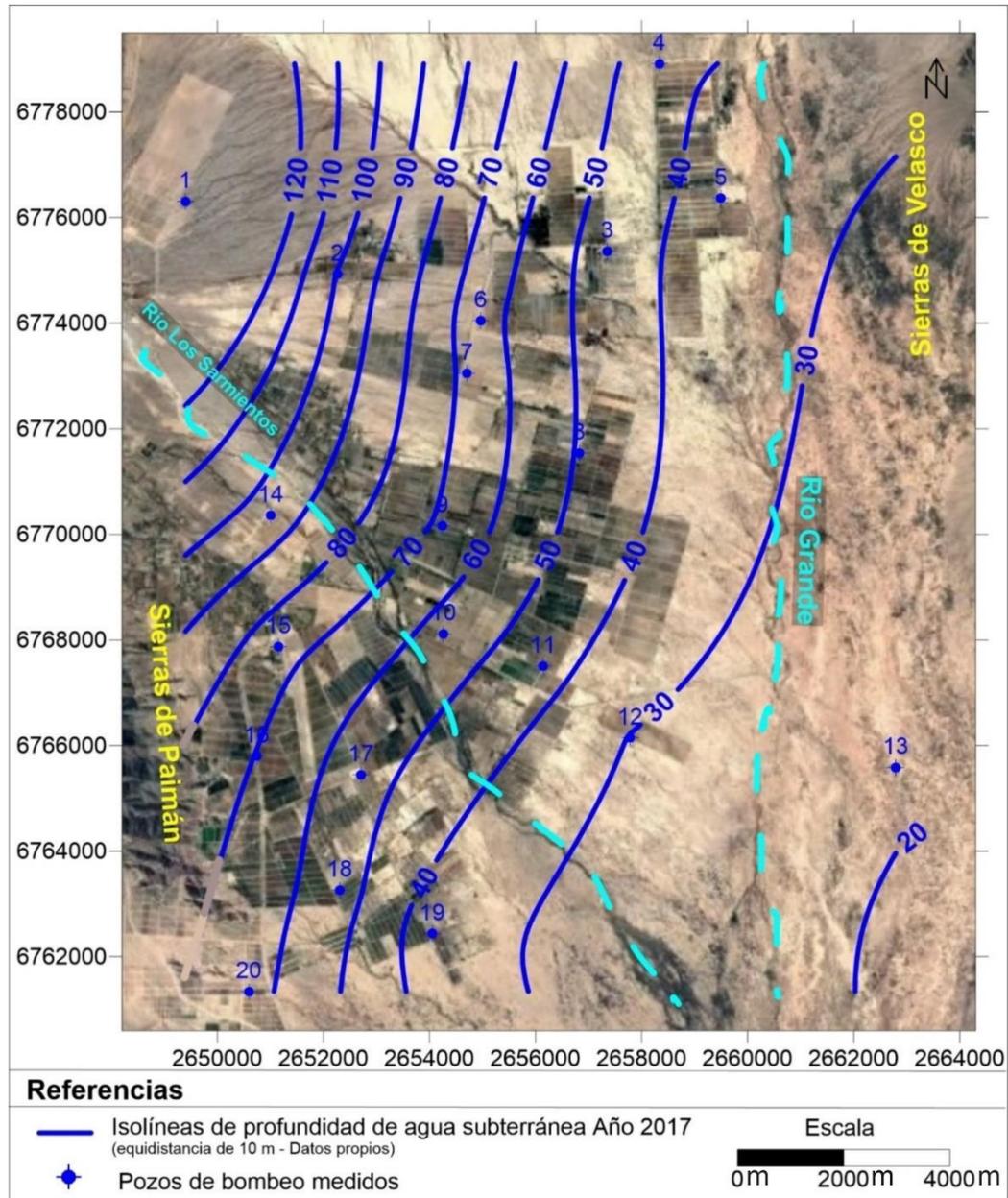


Figura 5.7: Mapa de igual profundidad de agua subterránea para el año 2017.

5.2 HIDROQUÍMICA

En el siguiente apartado se los ítems 5.2.1. Comparación de iones mayoritarios con datos antecedentes, 5.2.2. Diagramas Piper y 5.2.3 Clasificación del agua para riego.

5.2.1. Comparación de Iones Mayoritarios con Datos Antecedentes

A continuación, se presentan los resultados de las determinaciones de iones mayoritarios de muestras de agua subterránea para los años 2015, 2016 y 2017 y su comparación con los resultados del año 2005. Sólo se han considerado muestras extraídas del mismo pozo, su reemplazante o próximas al pozo muestreado en 2005. En tal sentido, en la Tabla 5.4, solo se comparan aquellos iones analizados en el año 2005.

En el Anexo 1 se presentan todos los resultados de los Analitos y los datos relevados en campo (pH, temperatura, conductividad eléctrica y alcalinidad).

Tabla 5.4: Resultados de determinaciones y analitos de los años 2005, 2015, 2016 y 2017.

| Pozo | pH | | | | CE $\mu\text{S/cm}$ | | | | Ca ²⁺ mg/l | | | |
|------|-----------------------|------|------|------|----------------------|------|------|------|-----------------------------------|------|------|------|
| | *2005 | 2015 | 2016 | 2017 | *2005 | 2015 | 2016 | 2017 | *2005 | 2015 | 2016 | 2017 |
| 2 | 6,9 | 7,7 | 7,7 | 7,7 | 926 | 1100 | 1150 | 1110 | 65 | 92,2 | 94 | 91,5 |
| 3 | 7,6 | 7,7 | 7,7 | 7,8 | 911 | 1230 | 1240 | 1190 | 44 | 85,5 | 135 | 79,4 |
| 4 | 7,4 | 7,8 | 7,7 | 7,7 | 1080 | 1110 | 990 | 1020 | 69 | 77,9 | 112 | 77,4 |
| 7 | 7,5 | 7,8 | 7,6 | 7,8 | 1410 | 1220 | 1580 | 1250 | 126 | 114 | 162 | 113 |
| 8 | 7,2 | 7,8 | 7,6 | 7,7 | 1320 | 1250 | 1220 | 1390 | 110 | 106 | 104 | 126 |
| 9 | 7,3 | 7,6 | 7,3 | 7,5 | 1420 | 1300 | 1370 | 1260 | 149 | 144 | 169 | 143 |
| 10 | 7,3 | 7,9 | 7,8 | 7,7 | 884 | 750 | 790 | 930 | 95 | 76 | 81,5 | 86,6 |
| 16 | 7,3 | 7,6 | 7,7 | 7,4 | 1050 | 1080 | 1160 | 1040 | 123 | 132 | 133 | 132 |
| 17 | 7,2 | 7,8 | 7,9 | 7,8 | 701 | 740 | 720 | 730 | 55 | 60,3 | 84,3 | 62,6 |
| 18 | 7,1 | 7,8 | 7,8 | 7,9 | 815 | 660 | 640 | 650 | 57 | 57 | 77 | 51,1 |
| 19 | 7,3 | 7,7 | 7,6 | 7,7 | 753 | 850 | 840 | 880 | 63 | 81,7 | 92 | 79 |
| Pozo | Mg ²⁺ mg/l | | | | Na ⁺ mg/l | | | | NO ₃ ⁻ mg/l | | | |
| | *2005 | 2015 | 2016 | 2017 | *2005 | 2015 | 2016 | 2017 | *2005 | 2015 | 2016 | 2017 |
| 2 | 18 | 30,6 | 31,6 | 40,9 | 105 | 115 | 120 | 85 | 4,8 | 11,1 | 11,6 | 11,2 |
| 3 | 1,4 | 3,3 | 13,7 | 25,1 | 140 | 140 | 165 | 130 | 7,9 | 13 | 12,7 | 13,4 |
| 4 | 6,6 | 12,7 | 13,7 | 17,3 | 145 | 140 | 90 | 100 | 17 | 16 | 13,2 | 13,1 |
| 7 | 18 | 24,3 | 32,8 | 32,5 | 140 | 130 | 140 | 135 | 13 | 13,8 | 35,3 | 17 |
| 8 | 16 | 23 | 16,4 | 29 | 145 | 88 | 135 | 160 | 21 | 15 | 16,3 | 22,7 |
| 9 | 34 | 41,6 | 53,6 | 52,6 | 85 | 100 | 85 | 70 | 40 | 12 | 55,2 | 10,8 |
| 10 | 16 | 23,1 | 56,4 | 40,1 | 65 | 62 | 44 | 95 | 6,3 | 9,9 | 9,6 | 12,9 |
| 16 | 26 | 31,8 | 31,7 | 45,9 | 60 | 50 | 52 | 48 | 14 | 12,1 | 11,9 | 13,3 |
| 17 | 12 | 23,5 | 20,5 | 28,3 | 74 | 58 | 64 | 64 | 9,7 | 12 | 10,5 | 10,4 |
| 18 | 6,9 | 25,4 | 17 | 25,8 | 103 | 72 | 85 | 62 | 6,5 | 7,3 | 7,1 | 7,8 |
| 19 | 11 | 21,4 | 24,3 | 40,6 | 76 | 60 | 60 | 85 | 9,5 | 12,2 | 13,6 | 14,4 |

Fuentes: *Poblete y Guimaraes (2006); Resto de años, Datos Propios.

En la mayoría de las muestras extraídas en 2015, 2016 y 2017 se observó que el pH ha aumentado con respecto al año 2005. La conductividad se ha mantenido relativamente estable, en algunos pozos se ha incrementado (2, 3, 7 y 19) y en otros ha disminuido (9 y 18). El calcio en la mayoría de las muestras presenta un marcado incremento (pozos 2, 3, 4, 16, 17 y 19) y en otros se mantiene estable (8, 9 y 18). Se observó un incremento de la concentración de magnesio en todas las muestras mientras que el sodio se ha mantenido

estable a excepción de la muestra 16, 17, 18, y 19, donde disminuyó. Las muestras extraídas en los pozos 7, 8 y 9, que presentan mayor salinidad, poseen los contenidos más elevados de nitrato. Los pozos 7 y 9 presentan un aumento de nitratos en 2016 respecto a 2005, pero en el año 2017 disminuyen considerablemente los valores. Se observó en el pozo 9, año 2016, concentraciones de nitratos que superan lo recomendado por el Código Alimentario Argentino.

5.2.2. Diagramas Piper

En el Figura 5.8, se presentan los diagramas de Piper correspondiente a las muestras de agua subterránea obtenidas en cada campaña de campo. En líneas generales se advierte que las muestras son en su mayoría sulfatadas cálcicas o cálcico sódicas.

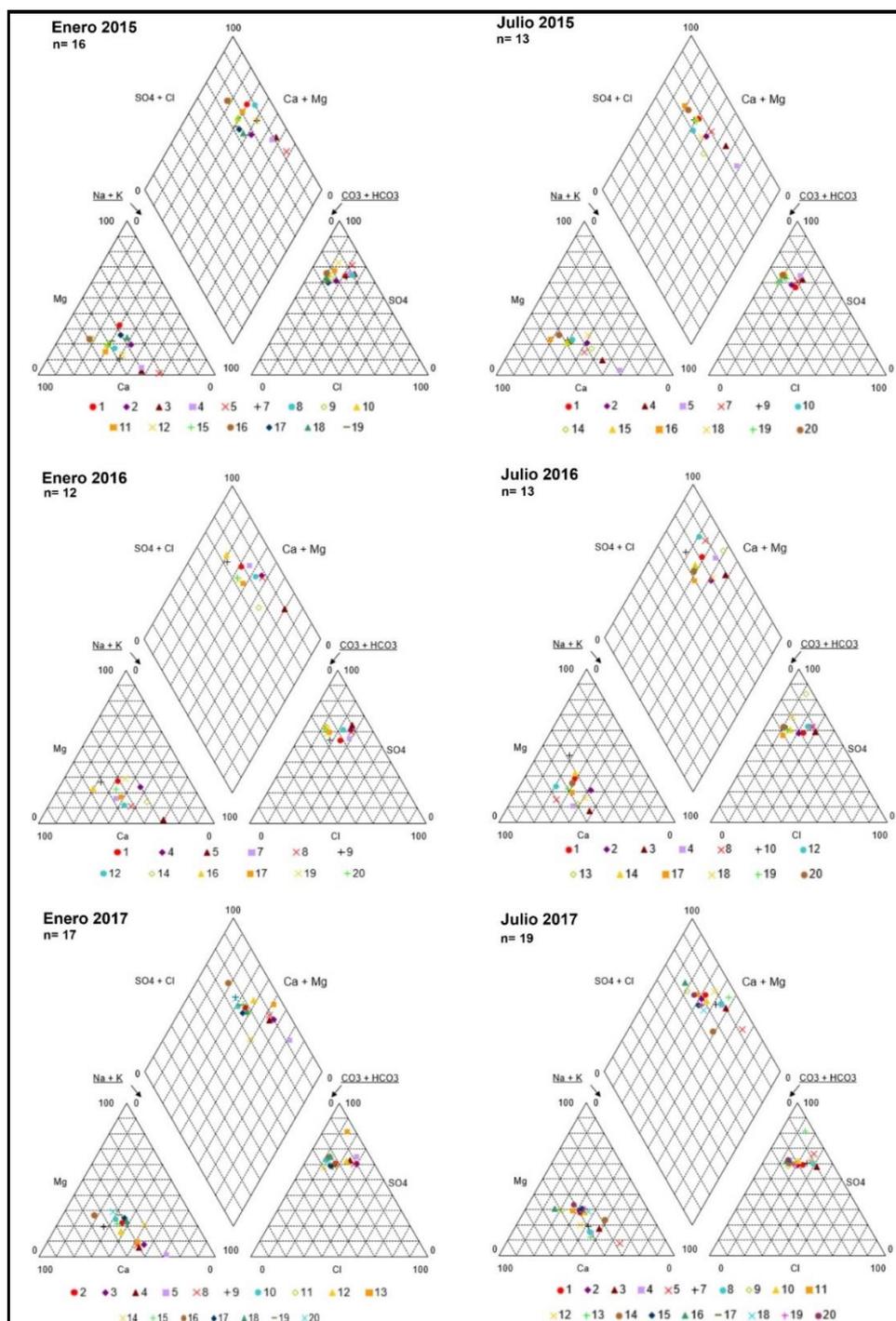


Figura 5.8: Diagramas Piper de muestras para los años 2015, 2016 y 2017.

Las muestras de los pozos 9, 16; localizadas en el centro Oeste del área de estudio presentan a lo largo de todo el período son de tipo sulfatadas cálcicas mientras que las muestras 5, al Noreste presentó características sulfatadas sódicas.

Las muestras restantes no presentaron cationes claramente dominantes, siendo en algunos casos sulfatadas cálcico-sódicas o sódico-cálcicas. Para el período de julio de 2016 se advierte que las muestras 4, 8 y 12 presentaron características cálcicas mientras que, para enero de 2017, las muestras 3, 4, 5, 8, 13 y 14 presentaron características sódicas. Parte de las muestras que presentan cambios en el catión dominante para esos períodos exhiben variaciones marcadas en la conductividad eléctrica.

En comparación con el estudio realizado por García E. (1994) perteneciente al Centro Regional de Aguas Subterráneas del Instituto Nacional del Agua (CRAS-INA), último documento donde se efectuó análisis completo de iones mayoritarios, se advierte que para el área estudiada existen características químicas similares, es decir aguas sulfatadas cálcicas, sódicas o sin catión dominante. No obstante, en algunas áreas se observó un aumento puntual en la salinidad, también advertido en Poblete y Guimaraes (2006). Es posible que estas "alteraciones" se deban a retornos de riego en pozos que captan la parte superior del sistema acuífero.

5.2.3. Clasificación del Agua Para Riego

En el Figura 5.9, se presenta el diagrama de calidad de agua para riego. La mayoría de las muestras presenta características C3 S1 (Buena a regular), de salinidad alta y peligro de alcalinización bajo, mientras que en menor medida se caracterizan como C2 S1 (Buena), de peligro de salinidad medio y alcalinización bajo. La muestra 13, tomada a partir del censo de junio de 2016 presentó características C4 S2 (regular a mala), con peligro de salinización muy alto y de alcalinidad medio. En el Anexo 2 se presentan los datos de Conductividad Eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) y el cálculo de la Relación de Absorción de Sodio (RAS) en los periodos de estudio.

Como particularidad se observa que las muestras correspondientes a los pozos 14, 15, 17, 18 y 20 localizados hacia el suroeste del área de estudio presentan menores peligros por salinidad. La muestra 13, que difiere marcadamente en cuanto a su salinidad y RAS se localiza hacia el área de los bajos, debido al diseño del pozo (pozo cavado a pico y pala de 30 metros de profundidad) sólo capta la parte superior del acuífero.

Cabe destacar que, en comparación con los estudios de García E. (1994) y Poblete y Guimaraes (2006), donde se efectuó análisis de calidad de agua para riego en gran parte de los pozos activos, el área no presenta grandes cambios siendo en su mayoría de clase C3 S1 (buena a regular) y en menor medida C2 S1 (buena), con algunas muestras puntuales alteradas de clase C4 S2 (regular a mala).

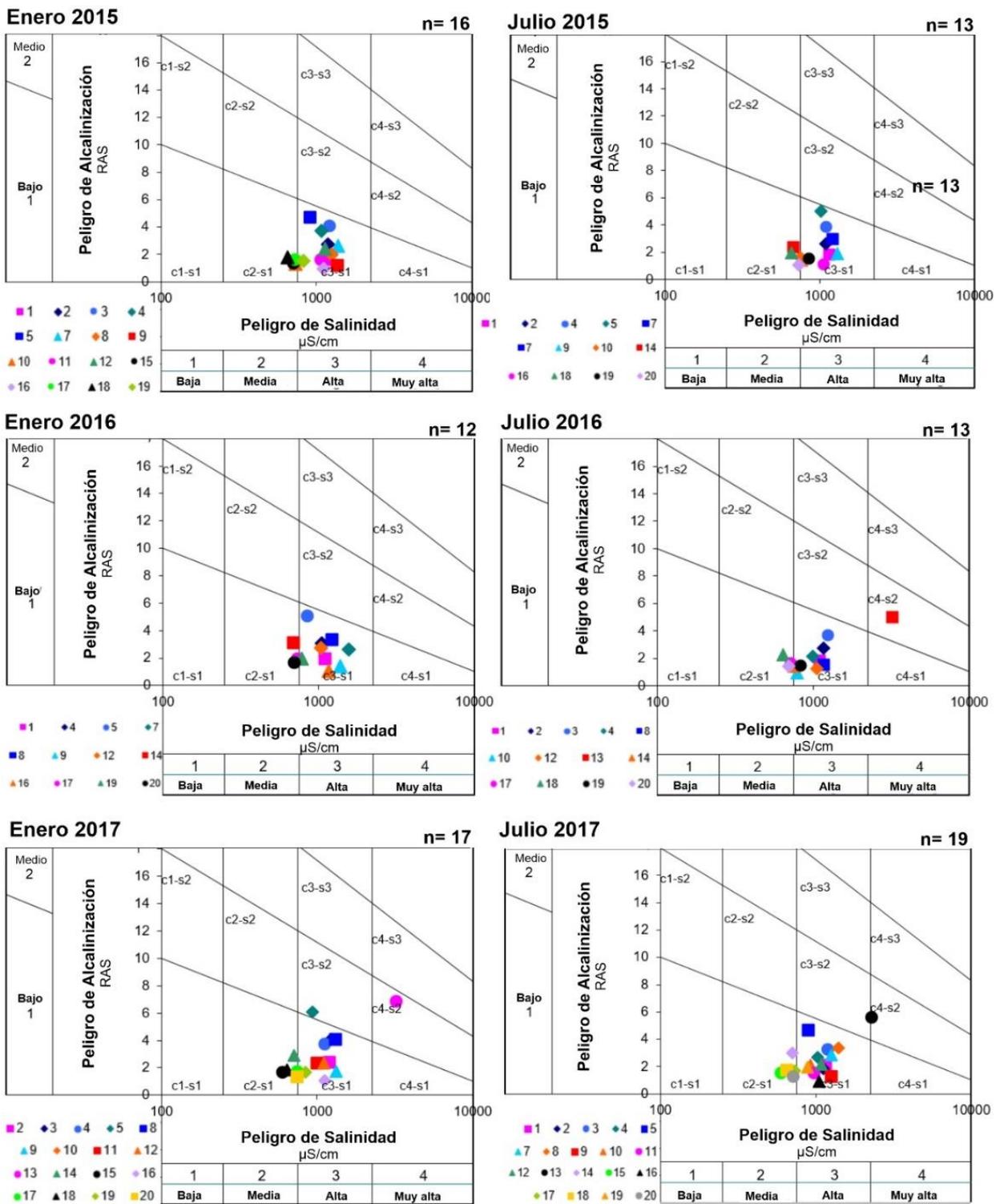


Figura 5.9: Diagramas de calidad de agua para riego para muestras obtenidas en los años 2015, 2016 y 2017.

5.3 UTILIZACIÓN DEL RECURSO HÍDRICO

A continuación, se presenta el análisis de pozos en las colonias agrícolas de Tilimuqui, Malligasta y Anguinán, la superficie cultivada calculada por Google Earth Pro y su validación en campo, y el análisis de las encuestas realizadas a productores del área de estudio.

5.3.1. Pozos en Tilimuqui, Malligasta y Anguinán

Las actividades agrícolas e industriales se abastecen integralmente de agua subterránea y sólo el minifundio utiliza agua superficial distribuida por canales. Poblete y Guimaraes en el año 2006, realizó el último estudio integral a nivel de cuenca y relevó que en todo el valle Antinaco – Los Colorados existían un total de 376 pozos declarados, 112 abandonados, 18 sin instalación y 246 en funcionamiento declarados legalmente. En los distritos estudiados se encontraban declarados y en funcionamiento un total de 95 pozos, 78 abandonados y 8 sin instalación (Tabla 5.5).

Tabla 5.5: Pozos en los distritos de Tilimuqui, Malligasta y Anguinán en el año 2005.

| Distrito | Pozos funcionando | Pozos abandonados | Pozos sin instalación | Total |
|-------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------------|--------------|
| Tilimuqui | 17 | 6 | 3 | 26 |
| Malligasta | 38 | 48 | 4 | 90 |
| Anguinán | 40 | 24 | 1 | 65 |
| Total | 95 | 78 | 8 | 181 |

Fuente: Miguel et al. (2015a).

De acuerdo a la información brindada por el Instituto Provincial del Agua La Rioja (IPALaR), los pozos en funcionamiento al año 2014 eran 115 (Tabla 5.6), representando un incremento del 21% respecto a los datos brindados por Poblete y Guimaraes, (2006). Comparando los datos de IPALaR en 2005 con los de 2014 (Tabla 5.6), existe un incremento del 51% de pozos. No obstante, se estima que el número de pozos en el área de estudio es mayor a la expresada en los antecedentes, ya que gran parte no están declarados legalmente. Debe considerarse que la información brindada por el IPALaR no discrimina en pozos funcionando, pozos abandonados y pozos sin instalación, como lo realizó Poblete y Guimaraes, (2006).

Tabla 5.6: Pozos en los distritos de Tilimuqui, Malligasta y Anguinán en el año 2005 y 2014

| Distrito | Pozos declarados en el año 2005 (IPALaR) | Pozos declarados en año 2014 (IPALaR) |
|-------------------|---|--|
| Tilimuqui | 8 | 12 |
| Malligasta | 34 | 55 |
| Anguinán | 34 | 48 |
| Total | 76 | 115 |

Fuente: Información brindada por el IPALaR.

5.3.2. Superficie Cultivada

En la Figura 5.10 se presenta la evolución de la superficie cultivada entre los años 1985 y 2015. En una primera instancia, se observa que entre los años 1985 y 2005 la superficie aumentó mayormente hacia el NE y SO. Para el año 2015, el aumento de la superficie cultivada se mantiene sobre el abanico aluvial de la quebrada del río Los Sarmientos, y además se extiende hacia la zona distal, es decir al Este del área de estudio.

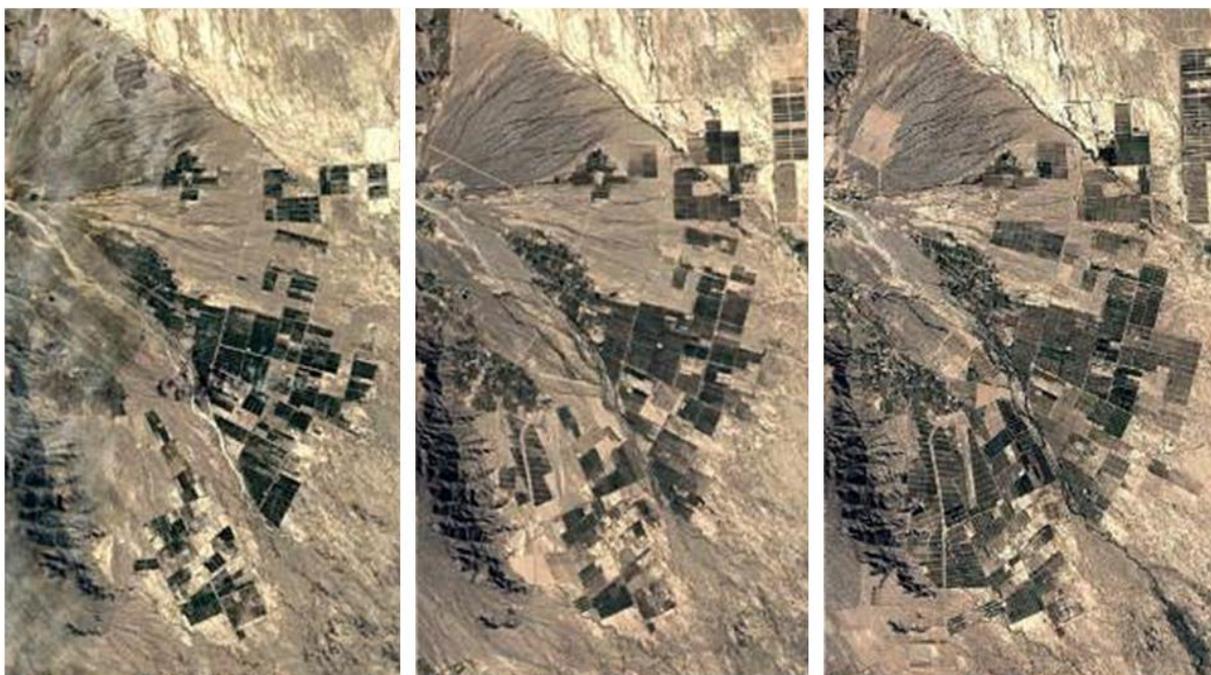


Figura 5.10: Superficies cultivadas en los años 1985 (izquierda), 2005 (centro) y 2015 (derecha).

En la Figura 5.11 se observan las superficies totales y cultivadas de cada emprendimiento agrícola, para toda el área de estudio y diferenciadas por cultivo, para el año 2017. En las Figuras 5.12 y 5.13, se presentan diferenciadas por colonias agrícolas para el mismo año.

Se relevaron 86 fincas que representan un total de 10.510 hectáreas totales, de las cuales 5.277 hectáreas se encuentran sin cultivar y 5.233 hectáreas cultivadas. De las cuales 3.155 hectáreas corresponden a vid, 1.687 hectáreas a olivos, 289 hectáreas a producciones hortícolas, 78 hectáreas a frutos secos y 24 hectáreas destinada a otros cultivos. En el Anexo 3 se presentan los datos relevados con el programa Google Earth Pro.

En la Colonia de Tilimuqui (Figura 5.12) la superficie total es de 3.964 hectáreas, de las cuales 1.410 ha se encuentran cultivadas, correspondientes a 917 ha de vid, 417 ha de olivos, 39 ha de frutos secos, 19 ha a hortícolas y 18 ha a otros cultivos (Tabla 5.7).

Para la Colonia de Malligasta (Figura 5.13 izquierda) el área total es 2.779 hectáreas, con 1.807 ha cultivadas: 1.092 ha de vid, 479 ha de olivo y 236 ha destinadas a horticultura (Tabla 5.7). Finalmente, la Colonia de Anguinán (Figura 5.13 derecha) posee una superficie total de 3.767 ha, con 2.016 ha cultivadas destinadas a 1.146 ha de vid, 791 ha de olivo, 39 ha a frutos secos y 34 ha a horticultura y 6 ha a otros cultivos (Tabla 5.7).

La Colonia de Tilimuqui es la que posee mayor superficie total y menor superficie cultivada. La mayor superficie cultivada corresponde a Anguinán, seguida por Malligasta, esta última no presenta cultivos de frutos secos sin embargo es la colonia que posee mayor superficie cultivada con horticultura.

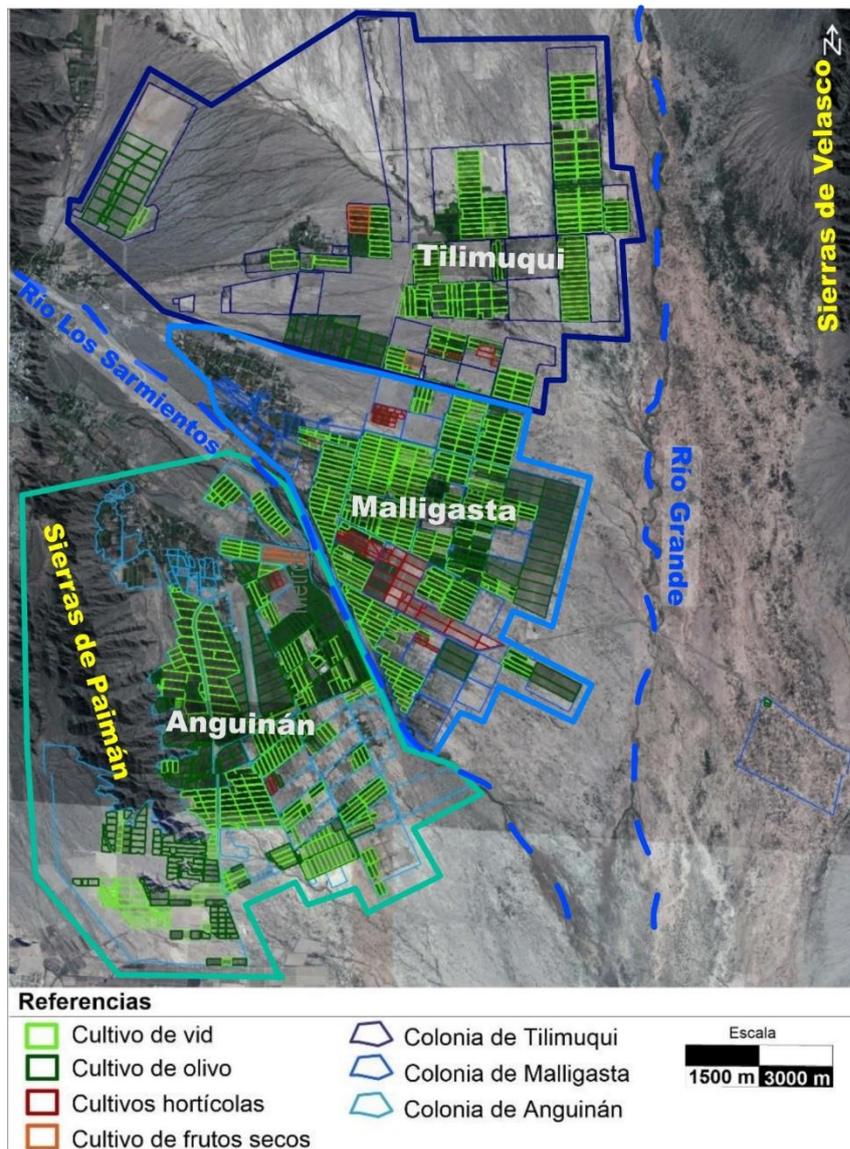


Figura 5.11: Superficies totales y cultivadas de cada emprendimiento agrícola.

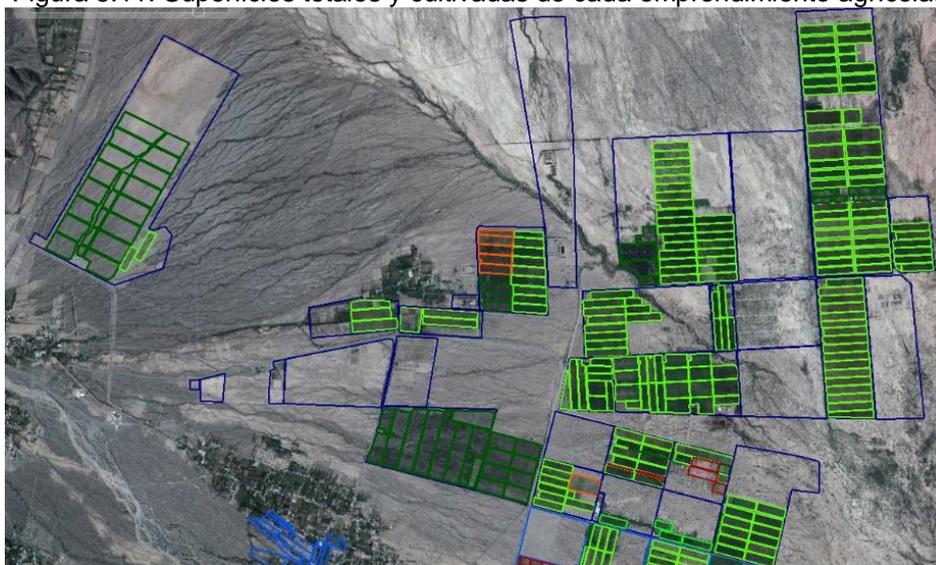


Figura 5.12: Superficie cultivada en Tilimuqui (Google Earth Pro. Fecha: 16/03/17).



Figura 5.13: Superficie cultivada en colonia Malligasta (izquierda) y Anguinán (derecha). (Google Earth Pro. Fecha: 16/03/17).

En la Tabla 5.7 se presenta la información resumida para las colonias de Tilimuqui, Malligasta y Anguinán para el año 2017.

Tabla 5.7: Superficie cultivada de las colonias en estudio en el año 2017.

| Colonias | Superficie Total (ha) | Superficie sin Cultivo (ha) | Superficie Cultivada (ha) | Sup. Vid (ha) | Sup. Olivo (ha) | Sup. Frutos Secos (ha) | Sup. Hortícola (ha) | Otros Cultivos (ha) |
|--------------|-----------------------|-----------------------------|---------------------------|---------------|-----------------|------------------------|---------------------|---------------------|
| Tilimuqui | 3.964 | 2.554 | 1.410 | 917 | 417 | 39 | 19 | 18 |
| Malligasta | 2.779 | 972 | 1.807 | 1.092 | 479 | 0 | 236 | 0 |
| Anguinán | 3.767 | 1.751 | 2.016 | 1.146 | 791 | 39 | 34 | 6 |
| Total | 10.510 | 5.277 | 5.233 | 3.155 | 1.687 | 78 | 289 | 24 |

5.3.3. Encuestas a Productores del Área de Estudio

En la Tabla 5.8 se presentan los datos relevados en las encuestas para superficie cultivada, discriminada por colonia y cultivo. Para mayor detalle, en el Anexo 4 se presentan los datos tabulados de las 62 encuestas realizadas en la zona de estudio.

Tabla 5.8: Superficie cultivada en hectáreas – Encuestas a productores.

| Encuestas (n=62) | Sup. Total (ha) | Sup. Cultivada (ha) | Sup Vid (ha) | Sup. Olivo (ha) | Sup. Frutos Secos (ha) | Sup. Hortícola (ha) | Otros Cultivos (ha) |
|------------------|-----------------|---------------------|--------------|-----------------|------------------------|---------------------|---------------------|
| Tilimuqui | 4.174 | 1.273 | 842 | 373 | 39 | 1 | 18 |
| Malligasta | 2.214 | 1.456 | 870 | 554 | 0 | 32 | 0 |
| Anguinán | 2.518 | 1.350 | 791 | 499 | 39 | 15 | 6 |
| Total | 8.906 | 4.079 | 2.503 | 1.426 | 78 | 48 | 24 |

Se realizaron un total de 62 encuestas, de las 86 fincas existentes. Las 24 fincas que no se relevaron fue debido a que los productores se negaron a responder la encuesta. Las fincas que no se encuestaron corresponden a 1.154 ha cultivadas, la mayoría de Anguinán.

De las encuestadas, se relevaron 8.906 ha de superficie total, de las cuales 4.079 ha se encuentran cultivadas y corresponden a los cultivos de vid 2.503 ha, olivo 1.426 ha, frutos secos 78 ha, hortícola 48 ha y 24 ha destinadas a otros cultivos. Las fincas encuestadas corresponden a un 85% de la superficie total cultivada, sobre la cual se basará el análisis.

Al igual que lo relevado en Google Earth Pro, la mayor superficie total corresponde a la colonia de Tilimuqui, siendo esta la que presenta menor superficie cultivada. La mayor superficie cultivada corresponde a la Colonia de Malligasta, sin embargo, en Google Earth Pro se evidencia que la mayor superficie corresponde a Anguinán. Esta diferencia está dada como se explicó anteriormente, por la negativa de participación de los productores de esta zona.

En la Colonia de Malligasta se encuentran las mayores superficies de vid, olivo y hortícola, siendo inexistentes los cultivos de frutos secos y los referidos como "otros". La superficie destinada a frutos secos es igual para las colonias de Tilimuqui y Anguinán (39 ha), y la superficie destinada a otros cultivos es mayor para Tilimuqui (18 ha).

Las colonias agrícolas realizadas en la década del 1960 y 1970 fueron irrigadas con sistemas de riego por gravedad. Desde el año 1990, y con los diferimientos impositivos, toda la superficie cultivada utilizó sistema de riego por goteo, impulsando a fincas más antiguas a reconvertir los sistemas de riego por gravedad, debido a que el goteo es más eficiente. Esto permitió ampliar las superficies cultivadas sin la necesidad de realizar otros pozos. En la Tabla 5.9 se presentan los datos encuestados sobre los distintos sistemas de riego por colonia.

Tabla 5.9: Sistemas de riego

| Colonias | Superficie Cultivada (ha) | Riego por Goteo (ha) | Riego por Gravedad (ha) | Porcentaje de Riego por Goteo (%) | Porcentaje de Riego por Gravedad (%) |
|--------------|---------------------------|----------------------|-------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|
| Tilimuqui | 1273 | 1174,5 | 98,5 | 92 | 8 |
| Malligasta | 1456 | 1110 | 346 | 76 | 24 |
| Anguinán | 1350 | 1262 | 88 | 93 | 7 |
| Total | 4079 | 3546,5 | 532,5 | 87 | 13 |

Del total de encuestas realizadas, se relevaron 4.079 ha de las cuales 3.546,5 ha se irrigan con sistema de riego por goteo y 532,5 ha son abastecidas con riego por gravedad. Lo que representa un 87% de superficie encuestada, irrigada con sistema de riego por goteo con una eficiencia mayor al 90% y un 13% de la superficie cultivada suministradas con riego por gravedad con una eficiencia del 60%.

En la Tabla 5.10 se presentan los datos encuestados sobre la distribución del sistema de riego por goteo en los diferentes cultivos y colonias.

Tabla 5.10: Distribución de riego por goteo en los diferentes cultivos y colonias.

| Colonias | Riego por Goteo (ha) | Superficie Vid (ha) | Superficie Olivo (ha) | Superficie Nogal y Frutos Secos (ha) | Superficie Horticultura (ha) | Superficie otros Cultivos (ha) |
|--------------|----------------------|---------------------|-----------------------|--------------------------------------|------------------------------|--------------------------------|
| Tilimuqui | 1174,5 | 768,5 | 371 | 32 | 1 | 2 |
| Malligasta | 1110 | 618 | 492 | 0 | 0 | 0 |
| Anguinán | 1262 | 713 | 499 | 39 | 5 | 6 |
| Total | 3546,5 | 2099,5 | 1362 | 71 | 6 | 8 |

De las 3546,5 hectáreas cultivadas con sistema de riego por goteo 2099,5 ha corresponden a vid, 1362 ha a olivo, 71 ha a frutos secos, 6 ha a horticultura y 8 ha a otros cultivos.

En la Tabla 5.11 se presentan los datos encuestados sobre la distribución del sistema de riego por gravedad en los diferentes cultivos y colonias.

Tabla 5.11: Distribución de riego por gravedad en los diferentes cultivos y colonias.

| Colonias | Riego por Gravedad (ha) | Superficie Vid (ha) | Superficie Olivo (ha) | Superficie Nogal y Frutos Secos (ha) | Superficie Horticultura (ha) | Superficie otros Cultivos (ha) |
|--------------|-------------------------|---------------------|-----------------------|--------------------------------------|------------------------------|--------------------------------|
| Tilimuqui | 98,5 | 73,5 | 2 | 7 | 0 | 16 |
| Malligasta | 346 | 252 | 62 | 0 | 32 | 0 |
| Anguinán | 88 | 78 | 0 | 0 | 10 | 0 |
| Total | 532,5 | 403,5 | 64 | 7 | 42 | 16 |

De las 4.079 ha de superficie encuesta cultivada, 532,5 ha corresponden a cultivos irrigados con sistema de riego por gravedad y están distribuidas en 403,5 ha de vid, 64 ha de olivo, 42 ha a horticultura, 16 a otros cultivos y 7 ha a frutos secos.

Si bien la mayor superficie cultivada es regada por goteo, vale aclarar que gran parte de los productores utilizan láminas de riego superiores a las requeridas por los cultivos. Más allá que el sistema es de alta eficiencia de aplicación, esta situación genera deficiencias en el manejo del recurso hídrico para riego, generando que los excesos no sean aprovechados por los cultivos.

En la Tabla 5.12 se presentan los datos sobre pozos, y en la Tabla 5.13 los caudales extraídos en relación a los pozos en funcionamiento.

Tabla 5.12: Pozos relevados.

| Colonias | Cantidad de pozos | En funcionamiento | En condiciones de funcionar | Abandonados |
|--------------|-------------------|-------------------|-----------------------------|-------------|
| Tilimuqui | 40 | 29 | 7 | 4 |
| Malligasta | 88 | 53 | 6 | 29 |
| Anguinán | 67 | 37 | 11 | 19 |
| Total | 195 | 119 | 24 | 52 |

Tabla 5.13: Pozos en funcionamiento y caudales promedios extraídos.

| | Pozos en funcionamiento | Potencia instalada promedio (Hp) | Caudales extraídos Promedio (m ³ /h) | Promedio de días de riego al año | Horas promedio de riego por día |
|--------------|-------------------------|----------------------------------|---|----------------------------------|---------------------------------|
| Total | 119 | 93 | 130 | 210 | 17 |

En relación a lo relevado por las encuestas, en la superficie de 4.079 hectáreas cultivadas, existen 195 pozos, de los cuales 119 se encuentran en funcionamiento. La Colonia de Malligasta es la que posee mayor cantidad de pozos totales, en funcionamiento y abandonados.

Del total de pozos en funcionamiento, se relevó que, en promedio para el área de estudio, cada pozo extrae 130 m³/h (Tabla 5.13). Estos pozos se encuentran en funcionamiento 17 horas al día y 210 días al año, aproximadamente.

En la Tabla 5.14 se presentan los datos potenciales de caudales que se podrían extraer en diferentes situaciones, en relación a la superficie encuestada (4.079 ha) y en relación a la superficie cultivada identificada en Google Earth Pro (5.233 ha).

El potencial máximo de caudal, se estimó considerando 119 pozos para la superficie cultivada encuestada, 24 horas de riego al día por 365 días al año y por 130 m³/h, lo que da un caudal de 135 hm³/año. En base a este dato se estimó para el total de hectáreas identificadas en Google Earth Pro, siendo un total de 173 hm³/año. Según los datos relevados en las encuestas, el potencial “real” se estimó en base a lo comentado en la Tabla 5.13 (17 horas de riego al día por 210 días al año) y por 130 m³/horas. Para la superficie cultivada encuestada el caudal total es de 55 hm³/año, y para la superficie identificada por Google Earth Pro es de 70,6 hm³/año.

Tabla 5.14: Datos potenciales de caudales que se podrían extraer.

| | Superficie cultivada 4079 ha. (encuesta) | Superficie cultivada 5233 ha. (Google) |
|---|---|---|
| Potencial extracción máxima | 135 hm ³ /año | 173 hm ³ /año |
| Extracción “real” | 55 hm ³ /año | 70,6 hm ³ /año |
| Recomendación CRAS INA (1000 mm) | 40,8 hm ³ /año | 52,3 hm ³ /año |
| Recomendación Costa y Minetti (Vid 729 mm y Olivo 653 mm)* | 28,6 hm ³ /año | 36,7 hm ³ /año |

Considerando el total de la superficie cultivada relevada por Google Earth Pro, el caudal extraído (70,6 hm³/año) representa el 52% de la recarga total del Valle Antinaco Los Colorados, que según Sosic (1971) es de 136 hm³/año. Es un valor alto considerando que la superficie cultivada del área de estudio representa el 24,4% de la superficie cultivada total del Valle Antinaco-Los Colorados (21.440 ha). Si todos los emprendimientos del valle aplicaran láminas y caudales similares, a los aplicados en Tilimuqui, Malligasta y Anguinán, el total del caudal extraído sería de 289 hm³/año aproximadamente, más del doble de la recarga del acuífero (136 hm³) lo que marca un balance negativo de -153 hm³/año. Esta situación explica la profundización continua de niveles estáticos en el área, es decir un descenso de los niveles piezométricos, situación que ha sido advertida en los apartados precedentes.

Comparando estos datos con las láminas de riego estimadas por diferentes autores se obtiene que, con una lámina de 1.000 mm, el caudal que debería extraerse es de 40,8 hm³/año para la superficie cultivada encuestada y 52,3 hm³/año, para la superficie de Google Earth Pro. Según lo relevado por las encuestas, los productores aplican una lámina aproximada de 1.354 mm/ha/año, por lo que el caudal extraído para el total de la superficie cultivada es un 26% mayor a lo considerado en las estimaciones de Poblete y Guimaraes (2006).

Costa y Minetti (2001) realizan recomendaciones más rigurosas en función de la Evapotranspiración potencial (ETP) e índices de Kc para cada tipo de cultivo, con láminas de 729 mm para el cultivo de vid y 653 mm para el cultivo de olivo. Promediando la superficie cultivada de vid y olivo en el área de estudio, el caudal que debería extraerse según estas recomendaciones es de 28,6 hm³/año para la superficie cultivada encuestada, y 36,7 hm³/año para la superficie cultivada identificada en Google Earth Pro. En este caso, el caudal extraído para el total de la superficie cultivada es 48% mayor a lo recomendado por Costa y Minetti (2001).

En resumen, si los caudales y las láminas aplicadas se ajustarían a lo recomendado por la bibliografía, los caudales extraídos podrían disminuir, aportando al equilibrio entre la extracción y la recarga del acuífero; y representando un beneficio económico para los productores, debido al menor uso de energía para extracción del agua.

5.4 PÉRDIDA DE RESERVA DE AGUA SUBTERRÁNEA

A continuación, se presentan los ítems 5.4.1. Disminución de Espesor Saturado, 5.4.2. Mapa de Coeficiente de Almacenamiento y 5.4.3. Pérdidas de Reservas.

5.4.1. Disminución de Espesor Saturado

En la Figura 5.14 se presentan isólinas que representan la variación de niveles piezométricos entre los años 1973-2005, observando la disminución del espesor saturado en ordenes de magnitud entre -4 y -16 metros. En la zona Norte los niveles disminuyeron entre -4 y -10 m, mientras que en la zona central y en el área de los pozos 16, 18, y 19 disminuyeron entre -12 a -16 m. En la zona Sur, los niveles disminuyeron entre -8 y -10 m.

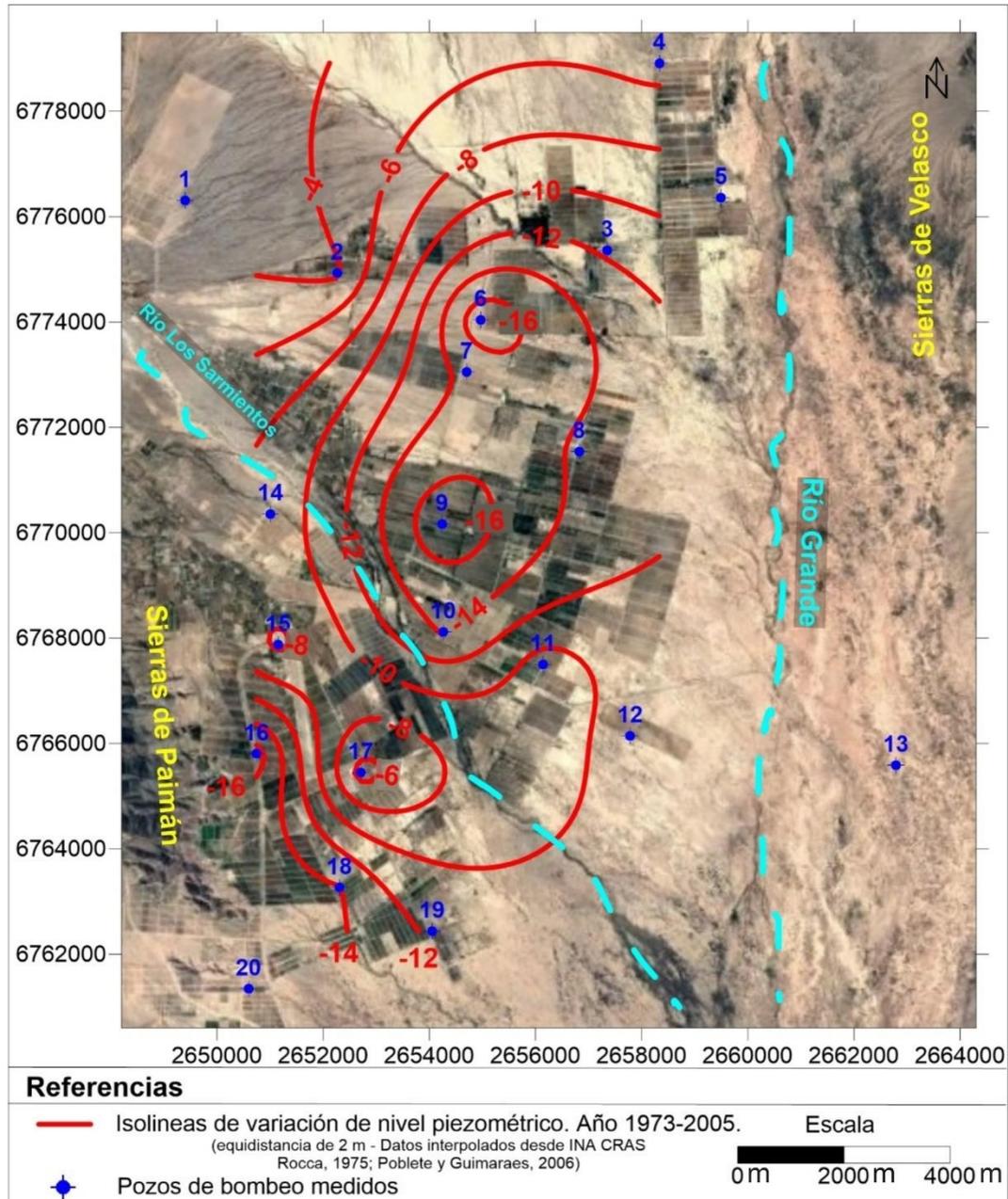


Figura 5.14: Isólinas de disminución del espesor saturado entre los años 1973-2005.

En la Figura 5.15, se presenta las isólinas de variación de los niveles piezométricos entre los años 2005-2017 donde se observa nuevamente la profundización de niveles como consecuencia del bombeo intensivo, evidenciado anteriormente en los mapas de niveles estáticos e isopiezas. En la zona apical del abanico aluvial los niveles se profundizaron entre -10 y -18 m lo que representa una disminución de 1,4 m/año aproximadamente; mientras que, en la zona distal, localizada al Sureste del área de estudio donde los materiales se vuelven más finos, los niveles también se profundizan, pero en menor medida, entre -2 y -8 m, con una profundización aproximada de 0,5 m/año.

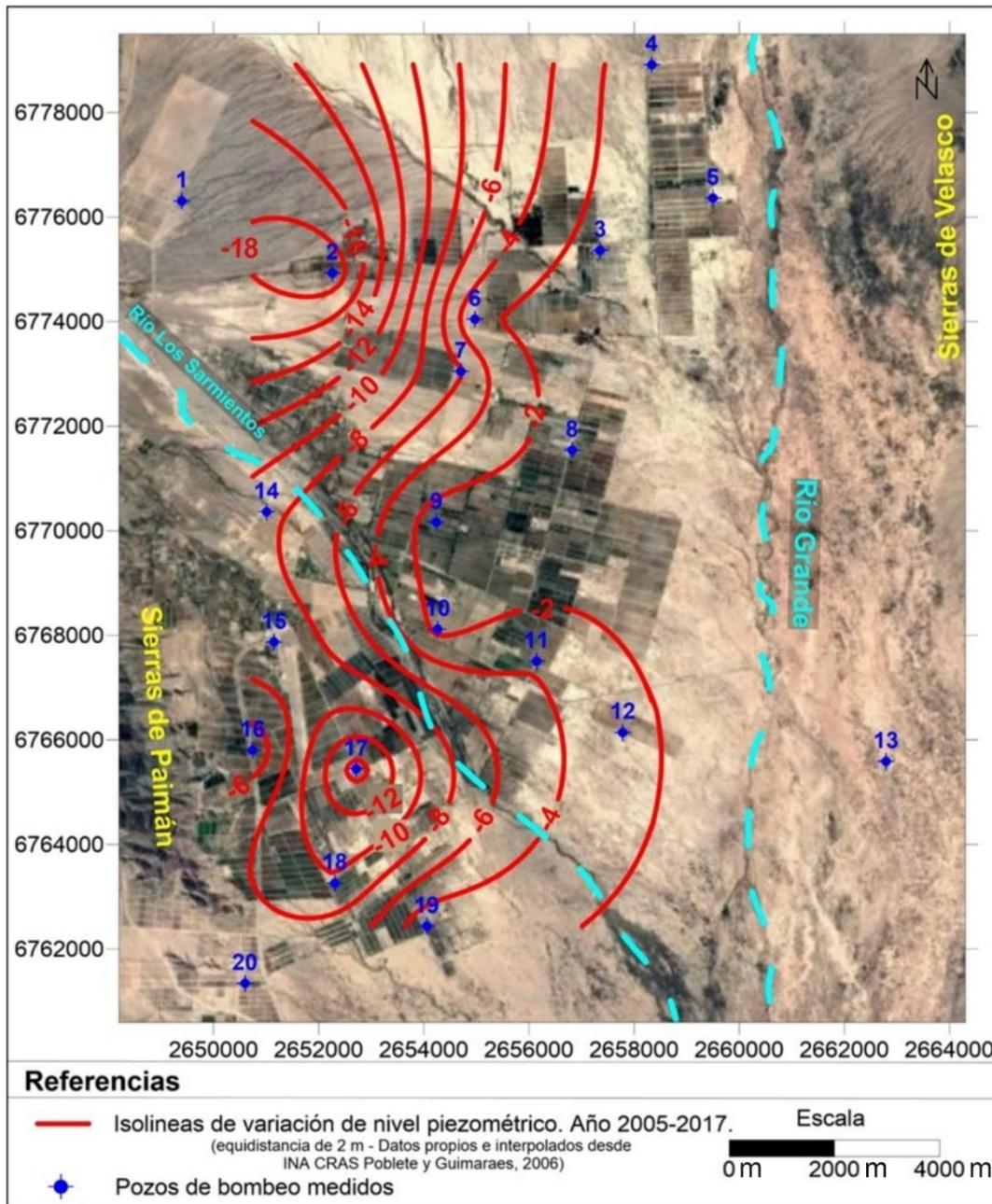


Figura 5.15: Isólinas de disminución del espesor saturado entre los años 2005-2017.

Finalmente, se presenta las Isólinas de variación de los niveles piezométricos del año 1973-2017 (Figura 5.16). Para la zona Norte, la disminución del espesor saturado se encuentra en el orden de -20 a -24 m; mientras que, en la zona Sur, es entre -12 y -14 m.

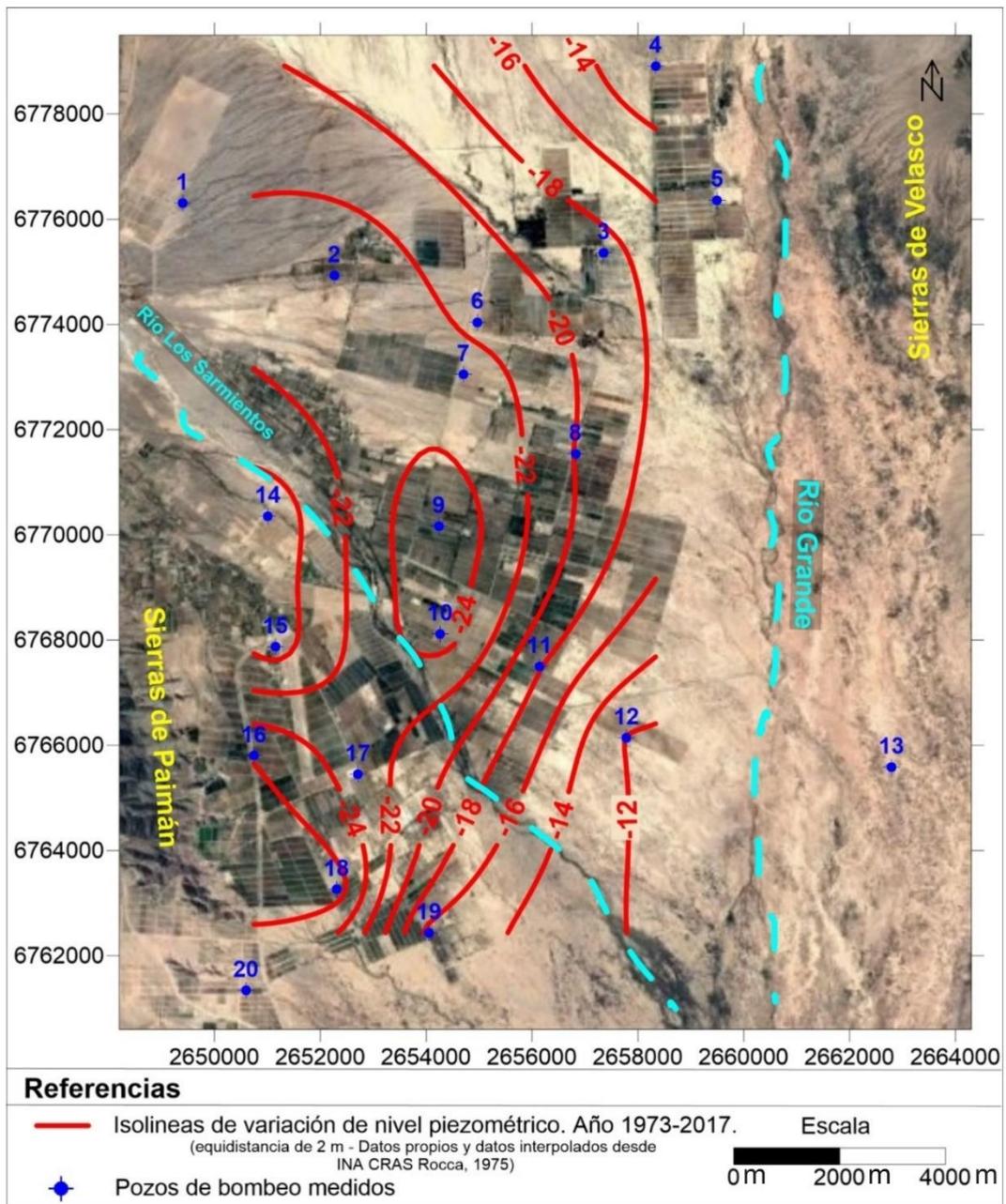


Figura 5.16: Isolíneas de disminución del espesor saturado para los años 1973-2017.

En la Tabla 5.15 se presenta el descenso medio anual para el área estudiada y la pérdida de volumen saturado calculado con un Programa SIG.

Tabla 5.15: Descensos medios anuales para los diferentes periodos estudiados.

| Periodo | Área m ² | Volumen m ³ | Descenso m | Descenso anual m |
|-----------|---------------------|------------------------|------------|------------------|
| 1973-2005 | 125102638 | 1309362806 | 10,7 | 0,33 |
| 2005-2017 | 125102638 | 790716289 | 6,32 | 0,53 |
| 1973-2017 | 125102638 | 2515067984 | 20,1 | 0,46 |
| 2015-2016 | 235396838 | 99120203 | 0,42 | 0,42 |
| 2016-2017 | 235396838 | 136258887 | 0,58 | 0,58 |

Se observa que la tasa de descenso medio anual para el área en estudio entre los datos antecedentes 1973-2005 es de 0,33 m/año mientras que para el período 2005-2017 es de 0,53 m/año. Para el período 1973-2017, se advirtió una tasa de descenso de 0,46 m/año. Los periodos 2015-2016 y 2016-2017 evidencian unas tasas de descensos medios anuales de 0,42 y 0,58 m/año respectivamente, es decir que las tasas de descensos se han incrementado.

5.4.2. Mapa de Coeficiente de Almacenamiento

Los datos de coeficiente de almacenamiento (S) se obtienen a partir de ensayos de bombeo que para el área de estudio fueron efectuados por Rocca et al. (1975), especialmente en el área de las colonias agrícolas de Malligasta y Anguinán. En la Figura 5.17 se presentan isolíneas de valores de coeficiente de almacenamiento en función de esos ensayos. Por otro lado, se aplican 4 valores en función de los datos de las inmediaciones. Como particularidad, para el Pozo 1 se consideró un valor de 0,1 ya que estudios realizados en la zona de estudio, proponen ese valor (García et al., 2016). Cabe señalar que Poblete y Guimaraes, en el año 2005 toma para el valle un coeficiente de almacenamiento de 0,01, valor por encima del calculado por ensayo de bombeo por técnicos de la institución en 1973. Este mapa es relevante para el análisis del apartado 5.4.3., donde se estiman las pérdidas de reserva.

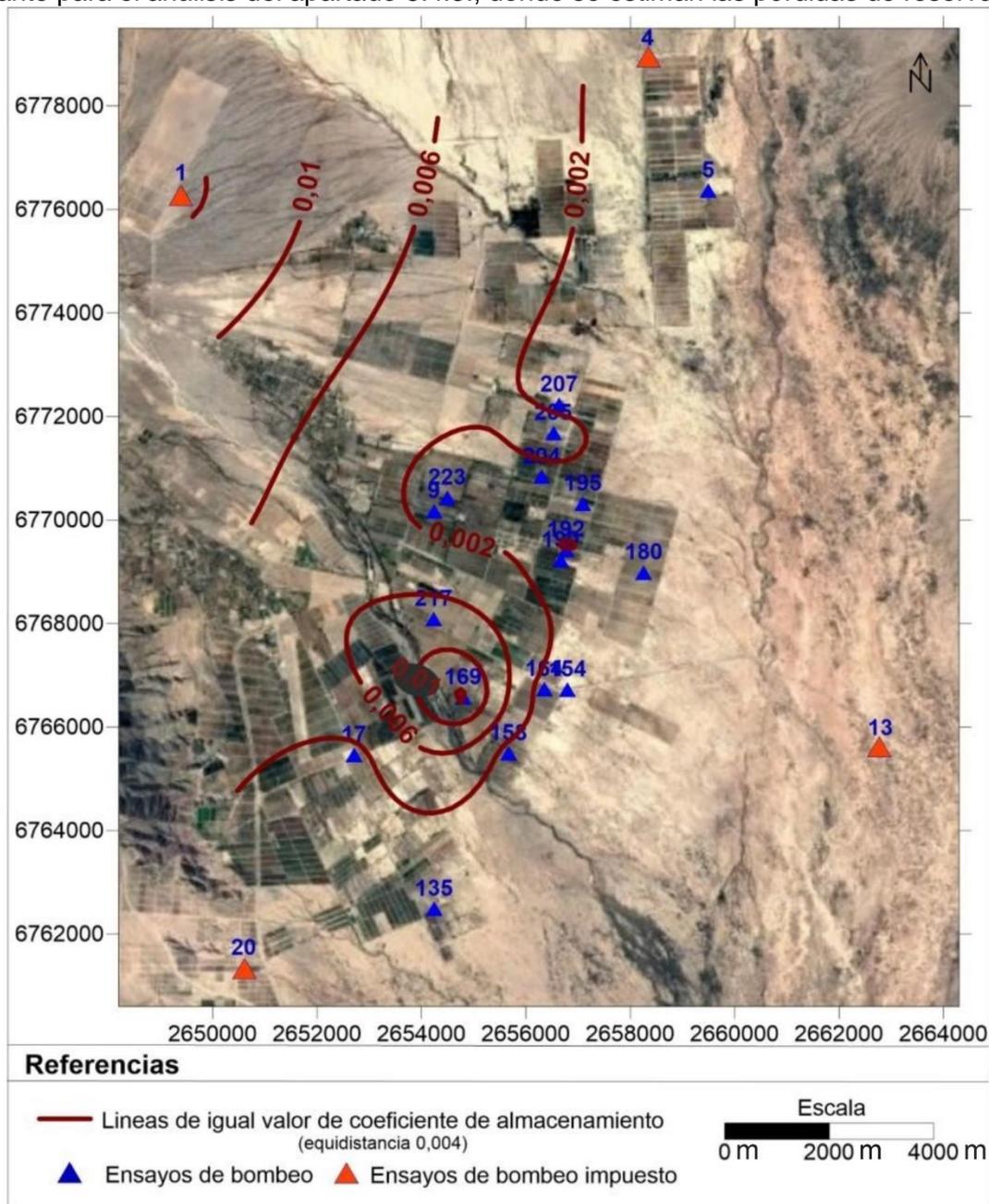


Figura 5.17: Líneas de igual valor de coeficiente de almacenamiento. Elaborado en base a datos de Rocca et al. (1975) y García et al. (2016).

5.4.3. Pérdidas de Reservas

En la Tabla 5.16 se presentan los datos para el cálculo de pérdida de reservas para los años estudiados bajo diferentes coeficientes de almacenamiento. El coeficiente $S=0,1$ se refiere a acuíferos libres, utilizado por Sosic (1971) y sugerido para el área García et al. (2016), $S=0,01$ es utilizado por Poblete y Guimaraes, (2006) y S "mapa" en función de los valores de coeficiente de almacenamiento mapeados en el apartado 5.4.2. Se recuerda que la superficie utilizada en los años antecedentes (1973 y 2005) es menor a la de los años 2015-2016 y 2016-2017, debido a que no contaba con nuevos pozos en áreas bajo actual explotación. Vale aclarar que según los diferentes autores se presentan tres coeficientes de almacenamientos diferentes, sin embargo, para este trabajo se considera más significativo el $S= 0,1$ que corresponde al acuífero libre, mayormente explotado en la zona.

Tabla 5.16: Pérdida de reservas en hm^3 calculados con diferentes valores de coeficientes de almacenamiento.

| Periodo | Superficie Km^2 | Pérdida de reservas en hm^3 bajo diferentes valores de S | | | |
|-----------|--------------------------|---|----------|-----------|------------|
| | | Vol Sat. ($\text{hm}^3 \text{ año}^{-1}$) | $S= 0,1$ | $S= 0,01$ | S "mapa" |
| 1973-2005 | 125,1 | 1.309 | 130,9 | 13,09 | 2,03 |
| 2005-2017 | | 790,7 | 79,07 | 7,907 | 1,24 |
| 1973-2017 | | 2.515 | 251,5 | 25,15 | 4,19 |
| 2015-2016 | 235,4 | 99,6 | 9,96 | 0,996 | 0,210 |
| 2016-2017 | | 136 | 13,6 | 1,36 | 0,390 |

Las diferencias entre las pérdidas son muy amplias debido a los órdenes de magnitud de los coeficientes de almacenamiento. Para el $S=0,1$ las pérdidas son mayores que para el resto de los S . Para $S=0,1$ entre el período 1973-2005 la pérdida de reserva fue de $130,9 \text{ hm}^3$, lo que daría un total de $4,09 \text{ hm}^3/\text{año}$. En los periodos 2015-2016 y 2016-2017 las pérdidas se incrementan debido a una mayor extracción del recurso hídrico como consecuencia del aumento de la superficie cultivada. Tomando todo el período de estudio (1973-2017) las pérdidas para el $S=0,1$ fueron de $251,5 \text{ hm}^3$, el equivalente a $5,72 \text{ hm}^3/\text{año}$.

Los valores de pérdidas para el resto de los coeficientes son menores, igualmente, las pérdidas son mayores para los últimos años de estudio, dejando nuevamente en evidencia que la mayor superficie cultivada y la mayor extracción de caudal modifican los volúmenes de reserva disponible.

Los resultados indican una posible situación de explotación intensiva de agua subterránea con un consumo continuado de reservas de agua donde la extracción supera la recarga.

CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES y COMENTARIOS FINALES

A continuación, se presentan las conclusiones que responden al objetivo general y específico para luego efectuar las recomendaciones y comentarios finales sobre las implicancias de la situación analizada en los regantes con agua subterránea del valle.

6.1. CONCLUSIONES

A fin de responder a la pregunta de investigación, al objetivo general y corroborar la hipótesis del trabajo se destacan las principales conclusiones por objetivo específico.

Respondiendo al **objetivo específico 1**: *Determinar la hidrodinámica e hidroquímica del recurso hídrico subterráneo en las colonias agrícolas de Tilimuqui, Malligasta y Anguinán, y su evolución respecto a estudios antecedentes.* Se evidencia que la extracción de agua subterránea en las colonias agrícolas de Tilimuqui, Malligasta y Anguinán modifican la hidrodinámica del sistema acuífero con cambios marcados en la piezometría y en las direcciones de flujo de agua subterránea. Respecto a la hidroquímica, no se detectó una evolución salina de las aguas a lo largo de los periodos estudiados y en comparación con los datos antecedentes. Las aguas resultaron sulfatadas cálcicas, sulfatadas sódicas o sulfatadas cálcico-sódicas o sódico-cálcicas.

En respuesta al **objetivo específico 2**: *Relacionar el total de pozos existentes, con los caudales extraídos, la superficie cultivada y el sistema de riego en las colonias agrícolas de Tilimuqui, Malligasta y Anguinán.* Se calculó que en el área de estudio los valores extraídos de caudales, considerando el total de la superficie cultivada (5.233 ha) fue de 70,6 hm³/año, lo cual representa el 52% de la recarga total del Valle Antinaco Los Colorados; que según Sosic (1971) es de 136 hm³/año. Es un valor alto considerando que la superficie cultivada del área de estudio representa el 24,4% de la superficie cultivada total del valle Antinaco-Los Colorados (21.440 ha). Si todos los emprendimientos del valle aplicaran láminas y caudales similares, a los aplicados en Tilimuqui, Malligasta y Anguinán, el total del caudal extraído sería de 289 hm³/año aproximadamente, más del doble de la recarga del acuífero (136 hm³) lo que marca un balance negativo de -153 hm³/año. Esta situación explica la profundización continua de niveles estáticos en el área.

En base a lo recomendado por la bibliografía (Costa y Minetti, 2001) y datos antecedentes (Poblete y Guimaraes, 2006) la situación actual de extracción podría reducirse si las láminas de aplicación por hectárea se ajustaran, lo que conllevaría al equilibrio entre la extracción y la recarga del acuífero reduciendo las actuales tasas de profundización. Además, esta situación representaría un beneficio económico para los productores, debido al menor uso de energía para extracción.

Cumpliendo con el **objetivo específico 3**: *Cuantificar la disminución de reserva de agua subterránea por explotación agropecuaria en las colonias agrícolas de Tilimuqui, Malligasta y Anguinán, entre los periodos 1973 – 2005, 2005 – 2017 y 1973 – 2017.*

Las pérdidas de reservas se calcularon teniendo en cuenta distintos coeficientes de almacenamiento en función de las fuentes consultadas. Se considera que el más representativo para la zona de estudio es un coeficiente de almacenamiento de $S=0,1$ debido a que corresponde al acuífero libre, mayormente explotado en la zona, y al considerado en los antecedentes bibliográficos consultados. Entre el período 1973-2005 la pérdida de reserva fue de 130,9 hm³, lo que daría un total de 4,09 hm³/año. Tomando todo el período de estudio (1973-2017) las pérdidas para el $S=0,1$ fueron de 251,5 hm³, el equivalente a 5,72 hm³/año. Es evidente por lo tanto un incremento de las pérdidas de reservas.

Por lo expuesto anteriormente se concluye que el acuífero se encuentra sometido a explotación intensiva, debido a que las descargas superan la recarga. Lo cual se manifiesta

con el descenso regional de los niveles piezométricos, es decir una pérdida de reservas de agua subterránea, pero sin advertirse marcadas alteraciones hidroquímicas.

6.2. RECOMENDACIONES Y COMENTARIOS FINALES

6.2.1. Recomendaciones

1. Es importante monitorear la calidad del agua, los niveles estáticos y dinámicos, a fin de analizar la hidroquímica y la hidrodinámica de la cuenca al menos en periodos de menor y mayor requerimiento hídrico de los cultivos y sobre todo considerando las nuevas fincas que se han instalado al Norte del área de estudio.
2. Se recomienda utilizar láminas de riego menores para que se reduzca la tasa de disminución de reservas.
3. Se recomienda que los productores instalen caudalímetros y caños piezométricos en sus pozos con la finalidad de monitorear y obtener datos de suma importancia para sostenibilidad del recurso hídrico subterráneo.

6.2.2. Comentarios Finales

La evidente profundización de los niveles estáticos en el área de estudio, genera un costo económico extra para los productores debido a la necesidad de profundizar las bocas de aspiración de las bombas para asegurarse la sumergencia del equipo, su correcto funcionamiento y evitar desgastes innecesarios y roturas. Al descender año a año la profundidad del agua, se requiere de un mayor consumo energético para extraer los caudales necesarios para satisfacer las necesidades hídricas de los cultivos.

Como particularidad, lo regantes que tienen pozos de mayor antigüedad no pueden descender más la boca de aspiración de las electrobombas ya que el equipo se encuentra instalado a la máxima profundidad posible. Estos productores se ven obligados a abandonar el pozo y construir otro el cual tiene un costo que ronda los 500 o 600 US\$ por metro (dependiendo del diámetro, la profundidad de la perforación y de los materiales constructivos del pozo). Si estos productores no cuentan con la posibilidad económica de realizar otro pozo se ven forzados a abandonar las fincas o venderlas. Esto, conduce a que personas con mayor capital accedan comprarlas a bajo precio, favoreciendo a la concentración de la tierra por parte de unos pocos.

BIBLIOGRAFÍA

Auge, M.; Wetten, C.; Baudino, G.; Bonorino, G.; Gianni, R.; González, N.; Grizinik, M.; Hernández, M.; Rodríguez, J.; Sisul, A.; Tineo, A.; y Torres, C. 2006. "Hidrogeología de Argentina". Boletín Geológico y Minero. 117 (1) 7-23.

Auge, M. 2009. "Conceptos y cálculo de reservas de agua subterránea". Material de curso de Posgrado. AySA. pp 20.

Bianchi, A.R.; Volante, J.R.; Noé, Y.E.; y González, A.C. 2006. "Mapa de distribución geográfica de lluvias en el Noroeste de Argentina". Adhesión al cincuentenario del INTA. Editorial INTA.

Bracaccini, O. y Rey, P. 1951. "Estudios geológicos y geofísicos en el valle Chilecito-Patquía". Dirección de Minería de La Rioja. Inédito.

Chebotarev, I.I. 1955. "Metamorphism of Natural Waters in the Crust of weathering". Geochim. Cosmochim. Acta, 8:22-48.

Código de Agua Provincia de La Rioja, LEY 4.295. 1984. Disponible en https://www.argentina.gob.ar/normativa/provincial/decreto_ley-4295-123456789-0abc-defg-592-4000fvorpyel/actualizacion [Último acceso, 2 de mayo de 2022].

Código Alimentario Argentino. 2012. "Capítulo XII: Bebidas hídricas, agua y agua gasificada, agua potable". Disponible en https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/anmat_caa_capitulo_xii_aguas_actualiz_2021-08.pdf [Último acceso, 2 de mayo de 2022].

COHIFE. 2003. "Principios Rectores de Política Hídrica. Consejo Hídrico Federal". Disponible en <https://www.cohife.org.ar/libro-de-los-principios-rectores-de-politica-hidrica/> [Último acceso, 2 de mayo de 2022].

Costa, M. y Minetti, J.L. 2001. "El agua: una limitante de la agricultura en La Rioja". Avances de la producción vegetal del NOA (1998 – 2001). pp 146-152.

Custodio, E., 1991. "La interpretación hidrogeoquímica como herramienta de estudio y valoración de sistemas acuíferos: aspectos metodológicos generales". En F. Anguita, I. Aparicio, L. Candela y N. F. Zurbano (Eds): Curso Internacional de Hidrología Subterránea-Hidrogeología, estado actual y perspectivas, CIMNIE, Barcelona. pp 121-161.

Custodio, E. 1996. "Explotación racional de las aguas subterráneas". Acta Geológica Hispánica, v. 30 (1995), no"-3, pp. 21-48.

Custodio, E., y Llamas, J. R. (1983). "Hidrología subterránea", editorial Omega. Barcelona. Volumen I y II.

Fetter, C.W. 1988. "Applied Hydrogeology". Second Edition. Editorial MacMillan. pp 592.

García, E. 1994. "Actualización y evolución de las características químicas del agua subterránea del valle Antinaco - Los Colorados". Informe técnico 157. San Juan. Centro Regional de Aguas Subterráneas. pp 25.

García Maurizio, R.F. 2013. "Geología de los Recursos Hídricos". 1° Edición, Salta. Asociación Civil Grupo Argentino. Asociación Internacional de Hidrogeólogos. AIH. Grupo Argentino. Universidad Nacional de Salta. ISBN: 978-987-27407-2-6.

García, R. F. 2014. "Captación de Aguas Subterráneas". Maestría en Ciencias Hídricas. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad Nacional de La Pampa. Apuntes del curso Captación de Aguas subterránea. pp 24.

García, R. F. 2015. "Hidráulica de Captaciones". Maestría en Ciencias Hídricas. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad Nacional de La Pampa. Apuntes del curso Hidráulica de Captaciones. pp 46.

García, J.W.; García, J.J.; Robador, A.I.; Valladares, H.M., Vallejos, C.S. 2016. "Hidrogeología del sector Norte del Valle de Chilecito. Departamentos de Famatina y Chilecito. Provincia de La Rioja". IX Congreso Argentino de Hidrogeología y VII Seminario Hispano-Latinoamericano Sobre Temas Actuales de la Hidrología Subterránea. Catamarca. ISBN: 978-987-661-224-1: Hidrogeología Regional. pp 183-190.

Hispanagua, 2021. "Sistema Español de Información del Agua". Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas. CEDEX. Gobierno de España. Disponible en <https://hispagua.cedex.es/datos/hidrogeologia> [Último acceso, 2 de mayo de 2022].

Instituto Provincial Del Agua La Rioja. 2010. "Ley 8.837 de control de perforaciones". Disponible en https://www.ecofield.net/Legales/LaRioja/ley8837_LRioja.htm [Último acceso, 2 de mayo de 2022].

Instituto Provincial Del Agua La Rioja. 2010. "Ley 8.871 Políticas Hídricas Provincial". Disponible en https://www.ecofield.net/Legales/LaRioja/ley8871_LRioja.htm [Último acceso, 2 de mayo de 2022].

Llamas, R. M; Hernández-Mora; M y L. Martínez Cortina. 2000. "El Uso Sostenible de las Aguas Subterráneas". Fundación Marcelino Botín. Papeles del Proyecto Aguas Subterráneas. Depósito legal: M. 6.073-2000. Impreso en REALIGRAF, S.L. Madrid.

Mariño, E. E y García. R.F. 2015. "Aplicaciones Ambientales de la Hidrogeoquímica". Escuela de Postgrado. Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Salta.

Mariño, E. E. 2016. "Hidroquímica e Hidrogeoquímica". Curso de postgrado Maestría en Recursos Hídricos. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad Nacional de La Pampa. pp 43.

Martínez Fernández, J. 2006. "Agua y sostenibilidad: algunas claves desde los sistemas áridos".

Miguel, R.E. 2015b. "Diagnóstico de los Recursos Hídricos en la Cuenca Antinaco – Los Colorados, La Rioja, Argentina. Aportes para tender a su gestión integrada". Tesis en Diplomatura en Gestión Integrada de Recursos Hídricos. Universidad de las Naciones Unidas. CATHALAC. Ciudad Universitaria, Panamá. pp 48.

Miguel, R.E. 2016. "Informe de Ensayo de Bombeo Pozo 1 INTA EEA Chilecito". Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Centro Regional Catamarca LA Rioja, Estación Experimental Agropecuaria Chilecito. pp 3.

Miguel, R.E.; González Ribot, J.V.; Agüero Alcaras, L.M.; Torres, N.A. 2015a. "Variación de niveles estáticos en las colonias agrícolas de Chilecito, La Rioja, en el período 2005 – 2014". Congreso Nacional del Agua, CONAGUA 2015. Paraná, Entre Ríos, Argentina. ISBN 978-987-27407-4-0. Editorial Asociación Internacional de Hidrogeólogos. Grupo Argentino.

Olías, M., Cerón, J. C., & Fernández, I. 2005. "Sobre la utilización de la clasificación de las aguas de riego del US Laboratory Salinity (USLS)". Geogaceta, 37(3).

Organización de las Naciones Unidas, 2015. "Objetivos de desarrollo sostenible". Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>. [Último acceso 4 de mayo de 2022].

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. pp. 206-218.

Poblete, M.A.; Guimaraes R.E. 2006. "Evaluación hidrogeológica de los acuíferos explotados en la cuenca Antinaco - Los Colorados". San Juan. Centro Regional de Aguas Subterráneas. pp 28.

Richards, L.A. (Ed),1954. "Diagnosis and improvement of saline and alkaline soils". U.S. Salinity Laboratory Staff, U.S Department of Agriculture, Handbook 60, pp160.

Rocca, J.A.; Ortiz, A.; Zambrano, J; Taballione, C.; Torres, E.; Robles, J.O.; Victoria, J.A.; Pellegrino, J; Salvioli, G.; Bosch, E.; Martinis, N.; Coria, E.; Lohn, P.; García Perón, E.; 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. CRAS INA. Secretaría de Estado de Recursos Naturales y Ambiente Humano, Subsecretaría de Recursos Hídricos. pp 350.

Salvioli, G. 1980. "Información pluviométrica. Área Antinaco-Los Colorados. Provincia de La Rioja" Unidad Hidrología. Centro Regional de Aguas Subterráneas, Instituto Nacional del Agua. Sin paginar.

Sánchez San Román, F.J. 2001. "El Ciclo Hidrológico". Dpto. Geología – Univ. Salamanca España. pp. 10.

Sánchez San Román, F.J. 2013. "Conceptos Fundamentales de Hidrogeología". Dpto. Geología – Univ. Salamanca España. pp. 10.

SMN, 2022. "Características: Estadísticas a largo plazo valores climatológicos medios 1988-2010 Chilecito, La Rioja". Servicio Meteorológico Nacional. Disponible en: <https://www.smn.gob.ar/estadisticas> [Último acceso 9 de mayo de 2022].

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. pp. 51.

Schulz, C. J y R. F. García. 2014. "Geohidrología Ambiental". Curso de Postgrado. Escuela del doctorado en Ciencias Geológicas. Facultad de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Salta.

Schulz, C. J y R. F. García. 2016. "Planificación, Gestión y Protección de los Recursos Hídricos". Escuela del Doctorado en Ciencias Geológicas. Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Salta.

USGS, 2019. "El ciclo del agua. Water Cycle in Spanish". United States Geology Service. Water Science School. Disponible en: <https://www.usgs.gov/media/images/el-ciclo-del-agua-water-cycle> [Último acceso 2 de mayo de 2022].

Victoria, J. 1962. Capítulo 4: Provincia geológica de los bolsones de los llanos occidentales Editor: Victoria, J. Evaluación de los recursos naturales de la Argentina, Recursos Hidráulicos Subterráneos. Buenos Aires. Editorial CFI. Consejo Federal de Inversiones. pp 55-73.

ANEXO 1

En el siguiente anexo se presentan los análisis físicos químicos de 114 muestras correspondiente a 19 pozos.

| Mes y año | Pozo | CE $\mu\text{S}/\text{cm}$ | T °C | pH | Dureza (mg/l CaCO ₃) | HCO ₃ ⁻ mg/l | SO ₄ ⁼ mg/l | Cl ⁻ mg/l | NO ₃ ⁼ mg/l | Na ⁺ mg/l | K ⁺ mg/l | Ca ²⁺ mg/l | Mg ²⁺ mg/l |
|--------------|------|------------------------------------|------|-----|--|---------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------|-------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Enero - 2015 | 1 | 1150 | 24,2 | 7,6 | 364 | 105 | 366 | 90,5 | 11 | 72 | 8 | 79,2 | 40,5 |
| Julio -2015 | | 1150 | 23,6 | 7,6 | 366 | 174 | 343 | 93,6 | 10,6 | 78 | 7 | 99,8 | 28,3 |
| Enero -2016 | | 1120 | 28,4 | 7,6 | 396 | 174,2 | 348,5 | 118 | 12 | 85 | 7 | 95,4 | 38,3 |
| Julio -2016 | | 1120 | 22,7 | 7,6 | 450 | 141 | 356 | 108,8 | 11,3 | 85 | 9 | 108,0 | 43,8 |
| Enero -2017 | | Muestra con error de determinación | | | | | | | | | | | |
| Julio - 2017 | | 1150 | 21,5 | 7,6 | 445 | 130 | 347,8 | 104,3 | 12,4 | 100 | 9 | 104,7 | 44,7 |

| Mes y año | Pozo | CE $\mu\text{S}/\text{cm}$ | T °C | pH | Dureza (mg/l CaCO ₃) | HCO ₃ ⁻ mg/l | SO ₄ ⁼ mg/l | Cl ⁻ mg/l | NO ₃ ⁼ mg/l | Na ⁺ mg/l | K ⁺ mg/l | Ca ²⁺ mg/l | Mg ²⁺ mg/l |
|--------------|------|------------------------------------|------|-----|--|---------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------|-------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Enero - 2015 | 2 | 1180 | 22,7 | 7,7 | 340 | 167 | 368 | 78,0 | 12,2 | 115 | 8 | 90,0 | 27,9 |
| Julio -2015 | | 1100 | 22,4 | 7,7 | 356 | 180 | 344 | 74,9 | 11,1 | 115 | 7 | 92,2 | 30,6 |
| Enero -2016 | | Muestra con error de determinación | | | | | | | | | | | |
| Julio -2016 | | 1150 | 21,3 | 7,7 | 365 | 151 | 328 | 88,5 | 11,6 | 120 | 9 | 94,0 | 31,6 |
| Enero -2017 | | 1190 | 22,8 | 7,5 | 435 | 162 | 350 | 74,9 | 11,2 | 115 | 9 | 114 | 36,5 |
| Julio - 2017 | | 1110 | 20,2 | 7,7 | 397 | 151 | 339 | 86,9 | 11,2 | 85 | 9 | 91,5 | 40,9 |

| Mes y año | Pozo | CE $\mu\text{S}/\text{cm}$ | T °C | pH | Dureza (mg/l CaCO ₃) | HCO ₃ ⁻ mg/l | SO ₄ ⁼ mg/l | Cl ⁻ mg/l | NO ₃ ⁼ mg/l | Na ⁺ mg/l | K ⁺ mg/l | Ca ²⁺ mg/l | Mg ²⁺ mg/l |
|--------------|------|------------------------------------|------|-----|--|---------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------|-------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Enero - 2015 | 3 | 1230 | 27,1 | 7,7 | 227 | 65,8 | 386 | 114 | 13,0 | 140 | 10 | 85,5 | 3,3 |
| Julio -2015 | | Muestra con error de determinación | | | | | | | | | | | |
| Enero -2016 | | Sin muestra | | | | | | | | | | | |
| Julio -2016 | | 1240 | 25,9 | 7,7 | 393 | 86,5 | 363 | 137 | 12,7 | 165 | 11 | 135 | 13,7 |
| Enero -2017 | | 1220 | 27,4 | 7,7 | 268 | 75,7 | 351 | 126 | 14,6 | 155 | 11 | 88,0 | 11,6 |
| Julio - 2017 | | 1190 | 25,0 | 7,8 | 302 | 75,7 | 345 | 139 | 13,4 | 130 | 12 | 79,4 | 25,1 |

| Mes y año | Pozo | CE $\mu\text{S}/\text{cm}$ | T °C | pH | Dureza (mg/l CaCO ₃) | HCO ₃ ⁻ mg/l | SO ₄ ⁼ mg/l | Cl ⁻ mg/l | NO ₃ ⁼ mg/l | Na ⁺ mg/l | K ⁺ mg/l | Ca ²⁺ mg/l | Mg ²⁺ mg/l |
|--------------|------|----------------------------|------|-----|--|---------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------|-------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Enero - 2015 | 4 | 1080 | 26,6 | 7,7 | 216 | 77,7 | 346 | 90,5 | 16,2 | 125 | 10 | 77,4 | 5,5 |
| Julio -2015 | | 1110 | 24,4 | 7,8 | 247 | 112 | 340 | 87,4 | 16,0 | 140 | 10 | 77,9 | 12,7 |
| Enero -2016 | | 1050 | 27,1 | 7,7 | 329 | 87,1 | 339 | 111 | 17,8 | 130 | 10 | 73,8 | 35,0 |
| Julio -2016 | | 990 | 25,0 | 7,7 | 337 | 75,7 | 329 | 105 | 13,2 | 90 | 11 | 112 | 13,7 |
| Enero -2017 | | 1120 | 26,8 | 7,6 | 260 | 86,5 | 337 | 98,7 | 19,5 | 140 | 12 | 91,0 | 7,9 |
| Julio - 2017 | | 1020 | 23,6 | 7,7 | 264 | 75,7 | 315 | 103 | 13,1 | 100 | 12 | 77,4 | 17,3 |

| Mes y año | Pozo | CE $\mu\text{S}/\text{cm}$ | T °C | pH | Dureza (mg/l CaCO ₃) | HCO ₃ ⁻ mg/l | SO ₄ ⁼ mg/l | Cl ⁻ mg/l | NO ₃ ⁼ mg/l | Na ⁺ mg/l | K ⁺ mg/l | Ca ²⁺ mg/l | Mg ²⁺ mg/l |
|--------------|------|------------------------------------|------|-----|--|---------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------|-------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Enero - 2015 | 5 | 920 | 29,5 | 8,1 | 126 | 41,9 | 333 | 74,9 | 12,0 | 120 | 8 | 48,6 | 1,1 |
| Julio -2015 | | 1020 | 26,9 | 8,2 | 138 | 99,6 | 309 | 68,7 | 8,3 | 135 | 7 | 49,4 | 3,5 |
| Enero -2016 | | 860 | 27,4 | 8,0 | 117 | 62,2 | 306 | 92,2 | 7,9 | 125 | 7 | 43,2 | 2,2 |
| Julio -2016 | | Muestra con error de determinación | | | | | | | | | | | |
| Enero -2017 | | 930 | 28,7 | 8,1 | 148 | 43,3 | 281 | 86,8 | 8,3 | 170 | 8 | 56,0 | 1,8 |
| Julio - 2017 | | 900 | 26,2 | 8,0 | 158 | 43,3 | 301 | 88,6 | 8,6 | 135 | 5 | 49,1 | 8,6 |

| Mes y año | Pozo | CE $\mu\text{S/cm}$ | T $^{\circ}\text{C}$ | pH | Dureza (mg/l CaCO ₃) | HCO ₃ ⁻ mg/l | SO ₄ ⁼ mg/l | Cl ⁻ mg/l | NO ₃ ⁼ mg/l | Na ⁺ mg/l | K ⁺ mg/l | Ca ²⁺ mg/l | Mg ²⁺ mg/l |
|--------------|------|------------------------------------|----------------------|-----|--|---------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------|-------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Enero - 2015 | 7 | 1370 | 26,2 | 7,6 | 389 | 111 | 391 | 99,9 | 17,0 | 120 | 10 | 126 | 17,0 |
| Julio -2015 | | 1220 | 20,3 | 7,8 | 385 | 149 | 362 | 87,4 | 13,8 | 130 | 8 | 114 | 24,3 |
| Enero -2016 | | 1580 | 23,8 | 7,6 | 540 | 149 | 406 | 155 | 35,3 | 140 | 10 | 162 | 32,8 |
| Julio -2016 | | Sin muestra | | | | | | | | | | | |
| Enero -2017 | | Muestra con error de determinación | | | | | | | | | | | |
| Julio - 2017 | | 1250 | 23,8 | 7,8 | 415 | 108 | 351 | 108 | 17,0 | 135 | 9 | 113 | 32,5 |

| Mes y año | Pozo | CE $\mu\text{S/cm}$ | T $^{\circ}\text{C}$ | pH | Dureza (mg/l CaCO ₃) | HCO ₃ ⁻ mg/l | SO ₄ ⁼ mg/l | Cl ⁻ mg/l | NO ₃ ⁼ mg/l | Na ⁺ mg/l | K ⁺ mg/l | Ca ²⁺ mg/l | Mg ²⁺ mg/l |
|--------------|------|------------------------------------|----------------------|-----|--|---------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------|-------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Enero - 2015 | 8 | 1250 | 26,1 | 7,8 | 360 | 72,0 | 354 | 103 | 15,0 | 88 | 10 | 106 | 23,0 |
| Julio -2015 | | Muestra con error de determinación | | | | | | | | | | | |
| Enero -2016 | | 1220 | 26,5 | 7,6 | 329 | 99,6 | 371 | 129 | 16,3 | 135 | 11 | 104 | 16,4 |
| Julio -2016 | | 1190 | 21,4 | 7,3 | 492 | 86,5 | 373 | 118 | 11,8 | 76 | 11 | 157 | 23,9 |
| Enero -2017 | | 1300 | 25,9 | 7,8 | 363 | 86,5 | 361 | 126 | 21,2 | 180 | 12 | 123 | 13,4 |
| Julio - 2017 | | 1390 | 22,0 | 7,7 | 435 | 86,5 | 368 | 132 | 22,7 | 160 | 10 | 126 | 29,0 |

| Mes y año | Pozo | CE $\mu\text{S/cm}$ | T $^{\circ}\text{C}$ | pH | Dureza (mg/l CaCO ₃) | HCO ₃ ⁻ mg/l | SO ₄ ⁼ mg/l | Cl ⁻ mg/l | NO ₃ ⁼ mg/l | Na ⁺ mg/l | K ⁺ mg/l | Ca ²⁺ mg/l | Mg ²⁺ mg/l |
|--------------|------|------------------------------------|----------------------|-----|--|---------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------|-------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Enero - 2015 | 9 | 1380 | 23,1 | 7,4 | 549 | 185 | 404 | 65,5 | 38,5 | 60 | 9 | 157 | 38,3 |
| Julio -2015 | | 1300 | 20,0 | 7,6 | 532 | 195 | 375 | 49,9 | 12,0 | 100 | 9 | 144 | 41,6 |
| Enero -2016 | | 1370 | 21,4 | 7,3 | 644 | 249 | 385 | 95,9 | 55,2 | 85 | 10 | 169 | 53,6 |
| Julio -2016 | | Muestra con error de determinación | | | | | | | | | | | |
| Enero -2017 | | 1330 | 23,2 | 7,4 | 588 | 205 | 382 | 81,7 | 31,9 | 100 | 10 | 172 | 38,3 |
| Julio - 2017 | | 1260 | 19,8 | 7,5 | 575 | 205 | 359 | 69,5 | 10,8 | 70 | 7 | 143 | 52,6 |

| Mes y año | Pozo | CE $\mu\text{S/cm}$ | T $^{\circ}\text{C}$ | pH | Dureza (mg/l CaCO ₃) | HCO ₃ ⁻ mg/l | SO ₄ ⁼ mg/l | Cl ⁻ mg/l | NO ₃ ⁼ mg/l | Na ⁺ mg/l | K ⁺ mg/l | Ca ²⁺ mg/l | Mg ²⁺ mg/l |
|--------------|------|------------------------------------|----------------------|-----|--|---------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------|-------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Enero - 2015 | 10 | 740 | 23,3 | 7,8 | 245 | 119 | 250 | 31,2 | 16,9 | 46 | 7 | 71,1 | 16,4 |
| Julio -2015 | | 750 | 22,2 | 7,9 | 285 | 162 | 262 | 31,2 | 9,9 | 62 | 6 | 76,0 | 23,1 |
| Enero -2016 | | Muestra con error de determinación | | | | | | | | | | | |
| Julio -2016 | | 790 | 21,8 | 7,8 | 436 | 151 | 276 | 44,3 | 9,6 | 44 | 7 | 81,5 | 56,4 |
| Enero -2017 | | 760 | 22,4 | 7,8 | 293 | 141 | 267 | 35,7 | 11,2 | 62 | 7 | 76,0 | 24,9 |
| Julio - 2017 | | 930 | 18,5 | 7,7 | 381 | 119 | 306 | 71,2 | 12,9 | 95 | 9 | 86,6 | 40,1 |

| Mes y año | Pozo | CE $\mu\text{S/cm}$ | T $^{\circ}\text{C}$ | pH | Dureza (mg/l CaCO ₃) | HCO ₃ ⁻ mg/l | SO ₄ ⁼ mg/l | Cl ⁻ mg/l | NO ₃ ⁼ mg/l | Na ⁺ mg/l | K ⁺ mg/l | Ca ²⁺ mg/l | Mg ²⁺ mg/l |
|--------------|------|------------------------------------|----------------------|-----|--|---------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------|-------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Enero - 2015 | 11 | 1070 | 24,3 | 7,8 | 333 | 126 | 347 | 49,9 | 31,4 | 66 | 9 | 104 | 17,5 |
| Julio -2015 | | Sin muestra | | | | | | | | | | | |
| Enero -2016 | | Muestra con error de determinación | | | | | | | | | | | |
| Julio -2016 | | Sin muestra | | | | | | | | | | | |
| Enero -2017 | | 990 | 23,6 | 7,7 | 340 | 151 | 318 | 71,5 | 33,9 | 100 | 10 | 102 | 20,7 |
| Julio - 2017 | | 980 | 19,4 | 7,9 | 400 | 141 | 303 | 67,8 | 26,5 | 70 | 7 | 95,2 | 39,3 |

| Mes y año | Pozo | CE $\mu\text{S/cm}$ | T $^{\circ}\text{C}$ | pH | Dureza (mg/l CaCO ₃) | HCO ₃ ⁻ mg/l | SO ₄ ⁼ mg/l | Cl ⁻ mg/l | NO ₃ ⁼ mg/l | Na ⁺ mg/l | K ⁺ mg/l | Ca ²⁺ mg/l | Mg ²⁺ mg/l |
|--------------|------|------------------------------------|----------------------|-----|--|---------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------|-------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Enero - 2015 | 12 | 1130 | 25,2 | 7,7 | 315 | 89,7 | 367 | 49,9 | 9,6 | 100 | 10 | 98,1 | 17,0 |
| Julio -2015 | | Muestra con error de determinación | | | | | | | | | | | |
| Enero -2016 | | 1040 | 25,2 | 7,6 | 315 | 118 | 343 | 95,9 | 10,1 | 110 | 9 | 101 | 15,3 |
| Julio -2016 | | 1050 | 24,0 | 7,6 | 506 | 97,3 | 353 | 102 | 8,9 | 62,0 | 11 | 143 | 36,0 |
| Enero -2017 | | 1090 | 24,3 | 7,7 | 365 | 108 | 349 | 95,3 | 10,7 | 105 | 11 | 107 | 23,7 |
| Julio - 2017 | | 1080 | 22,6 | 7,7 | 355 | 75,7 | 333 | 104 | 8,0 | 95,0 | 10 | 97,4 | 27,2 |

| Mes y año | Pozo | CE $\mu\text{S/cm}$ | T $^{\circ}\text{C}$ | pH | Dureza (mg/l CaCO ₃) | HCO ₃ ⁻ mg/l | SO ₄ ⁼ mg/l | Cl ⁻ mg/l | NO ₃ ⁼ mg/l | Na ⁺ mg/l | K ⁺ mg/l | Ca ²⁺ mg/l | Mg ²⁺ mg/l |
|--------------|------|------------------------------------|----------------------|-----|--|---------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------|-------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Enero - 2015 | 13 | Sin muestra | | | | | | | | | | | |
| Julio -2015 | | Muestra con error de determinación | | | | | | | | | | | |
| Enero -2016 | | Muestra con error de determinación | | | | | | | | | | | |
| Julio -2016 | | 3200 | 21,2 | 7,3 | 1547 | 130 | 2014 | 216 | 4,4 | 450 | 25 | 498 | 73,2 |
| Enero -2017 | | 3190 | 23,5 | 7,4 | 1095 | 130 | 1620 | 204 | 5,7 | 525 | 28 | 350 | 53,5 |
| Julio - 2017 | | 2290 | 21,8 | 7,4 | 1052 | 130 | 1644 | 209 | 3,8 | 420 | 25 | 328 | 56,2 |

| Mes y año | Pozo | CE $\mu\text{S/cm}$ | T $^{\circ}\text{C}$ | pH | Dureza (mg/l CaCO ₃) | HCO ₃ ⁻ mg/l | SO ₄ ⁼ mg/l | Cl ⁻ mg/l | NO ₃ ⁼ mg/l | Na ⁺ mg/l | K ⁺ mg/l | Ca ²⁺ mg/l | Mg ²⁺ mg/l |
|--------------|------|------------------------------------|----------------------|-----|--|---------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------|-------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Enero - 2015 | 14 | Muestra con error de determinación | | | | | | | | | | | |
| Julio -2015 | | 680 | 24,2 | 7,9 | 200 | 162 | 245 | 28,1 | 8,7 | 76 | 6 | 55,1 | 15,0 |
| Enero -2016 | | 690 | 24,8 | 8,0 | 162 | 124 | 249 | 36,9 | 10,3 | 90 | 6 | 45,0 | 12,0 |
| Julio -2016 | | 750 | 22,0 | 7,8 | 344 | 151 | 289 | 51,6 | 7,2 | 60 | 7 | 77,3 | 36,7 |
| Enero -2017 | | 710 | 25,6 | 7,8 | 225 | 151 | 234 | 37,4 | 14,5 | 100 | 7 | 53,0 | 22,5 |
| Julio - 2017 | | 710 | 23,4 | 8,0 | 233 | 130 | 247 | 46,9 | 7,1 | 105 | 6 | 51,7 | 25,3 |

| Mes y año | Pozo | CE $\mu\text{S/cm}$ | T $^{\circ}\text{C}$ | pH | Dureza (mg/l CaCO ₃) | HCO ₃ ⁻ mg/l | SO ₄ ⁼ mg/l | Cl ⁻ mg/l | NO ₃ ⁼ mg/l | Na ⁺ mg/l | K ⁺ mg/l | Ca ²⁺ mg/l | Mg ²⁺ mg/l |
|--------------|------|------------------------------------|----------------------|-----|--|---------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------|-------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Enero - 2015 | 15 | 720 | 23,3 | 7,9 | 247 | 123 | 269 | 31,2 | 10,3 | 48 | 5 | 72,0 | 16,4 |
| Julio -2015 | | 760 | 20,4 | 7,9 | 268 | 130 | 281 | 31,2 | 9,97 | 52 | 4 | 75,1 | 19,6 |
| Enero -2016 | | Muestra con error de determinación | | | | | | | | | | | |
| Julio -2016 | | Muestra con error de determinación | | | | | | | | | | | |
| Enero -2017 | | 750 | 23,5 | 7,8 | 273 | 119 | 271 | 37,4 | 11,2 | 64 | 7 | 74,0 | 21,3 |
| Julio - 2017 | | 600 | 18,5 | 7,8 | 266 | 119 | 237 | 40,0 | 11,2 | 58 | 6 | 58,4 | 29,1 |

| Mes y año | Pozo | CE $\mu\text{S/cm}$ | T $^{\circ}\text{C}$ | pH | Dureza (mg/l CaCO ₃) | HCO ₃ ⁻ mg/l | SO ₄ ⁼ mg/l | Cl ⁻ mg/l | NO ₃ ⁼ mg/l | Na ⁺ mg/l | K ⁺ mg/l | Ca ²⁺ mg/l | Mg ²⁺ mg/l |
|--------------|------|------------------------------------|----------------------|-----|--|---------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------|-------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Enero - 2015 | 16 | 1110 | 23,1 | 7,4 | 459 | 185 | 394 | 45,2 | 12,0 | 46 | 8 | 133 | 30,6 |
| Julio -2015 | | 1080 | 20,0 | 7,6 | 461 | 184 | 356 | 37,4 | 12,1 | 50 | 6 | 132 | 31,8 |
| Enero -2016 | | 1160 | 22,4 | 7,7 | 464 | 187 | 364 | 47,9 | 11,9 | 52 | 8 | 133 | 31,7 |
| Julio -2016 | | Muestra con error de determinación | | | | | | | | | | | |
| Enero -2017 | | 1110 | 23,5 | 7,4 | 528 | 173 | 367 | 51,1 | 13,6 | 56 | 9 | 143 | 41,3 |
| Julio - 2017 | | 1040 | 20,4 | 7,4 | 518 | 173 | 339 | 52,1 | 13,3 | 48 | 7 | 132 | 45,9 |

| Mes y año | Pozo | CE μ S/cm | T °C | pH | Dureza (mg/l CaCO ₃) | HCO ₃ ⁻ mg/l | SO ₄ ⁼ mg/l | Cl ⁻ mg/l | NO ₃ ⁼ mg/l | Na ⁺ mg/l | K ⁺ mg/l | Ca ²⁺ mg/l | Mg ²⁺ mg/l |
|--------------|------|------------------------------------|------|-----|--|---------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------|-------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Enero - 2015 | 17 | 740 | 24,6 | 7,8 | 247 | 141 | 249 | 40,6 | 12,0 | 58 | 8 | 60,3 | 23,5 |
| Julio -2015 | | Muestra con error de determinación | | | | | | | | | | | |
| Enero -2016 | | 740 | 26,6 | 7,9 | 225 | 137 | 252 | 47,9 | 11,7 | 64 | 7 | 64,8 | 15,3 |
| Julio -2016 | | 720 | 22,5 | 7,9 | 295 | 151 | 221 | 36,9 | 10,5 | 64 | 6 | 84,3 | 20,5 |
| Enero -2017 | | 740 | 25,3 | 7,9 | 245 | 130 | 235 | 46,0 | 13,1 | 64 | 8 | 60,0 | 23,1 |
| Julio - 2017 | | 730 | 22,4 | 7,8 | 273 | 119 | 241 | 50,4 | 10,4 | 64 | 6 | 62,6 | 28,3 |

| Mes y año | Pozo | CE μ S/cm | T °C | pH | Dureza (mg/l CaCO ₃) | HCO ₃ ⁻ mg/l | SO ₄ ⁼ mg/l | Cl ⁻ mg/l | NO ₃ ⁼ mg/l | Na ⁺ mg/l | K ⁺ mg/l | Ca ²⁺ mg/l | Mg ²⁺ mg/l |
|--------------|------|------------------------------------|------|-----|--|---------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------|-------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Enero - 2015 | 18 | 650 | 22,8 | 8,0 | 219 | 126 | 244 | 31,2 | 7,7 | 60 | 5 | 53,2 | 20,8 |
| Julio -2015 | | 660 | 23,3 | 7,8 | 247 | 141 | 258 | 28,1 | 7,3 | 72 | 6 | 57,0 | 25,4 |
| Enero -2016 | | Muestra con error de determinación | | | | | | | | | | | |
| Julio -2016 | | 640 | 21,7 | 7,8 | 263 | 97,3 | 273 | 35,0 | 7,1 | 85 | 5 | 77,0 | 17,0 |
| Enero -2017 | | 640 | 24,0 | 7,9 | 215 | 108 | 245 | 35,7 | 8,3 | 62 | 6 | 54,0 | 19,5 |
| Julio - 2017 | | 650 | 21,8 | 7,9 | 234 | 108 | 227 | 40,0 | 7,8 | 62 | 6 | 51,1 | 25,8 |

| Mes y año | Pozo | CE μ S/cm | T °C | pH | Dureza (mg/l CaCO ₃) | HCO ₃ ⁻ mg/l | SO ₄ ⁼ mg/l | Cl ⁻ mg/l | NO ₃ ⁼ mg/l | Na ⁺ mg/l | K ⁺ mg/l | Ca ²⁺ mg/l | Mg ²⁺ mg/l |
|--------------|------|---------------|------|-----|--|---------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------|-------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Enero - 2015 | 19 | 830 | 22,5 | 7,7 | 285 | 161 | 277 | 43,7 | 11,7 | 60 | 8 | 77,9 | 21,9 |
| Julio -2015 | | 850 | 21,8 | 7,7 | 292 | 151 | 300 | 43,7 | 12,15 | 60 | 9 | 81,7 | 21,4 |
| Enero -2016 | | 780 | 21,5 | 7,6 | 324 | 174 | 296 | 55,3 | 12,3 | 80 | 11 | 72,0 | 35,0 |
| Julio -2016 | | 840 | 21,3 | 7,6 | 330 | 151 | 269 | 44,3 | 13,6 | 60 | 9 | 92,0 | 24,3 |
| Enero -2017 | | 840 | 24,0 | 7,7 | 315 | 141 | 277 | 52,8 | 8,4 | 70 | 11 | 76,0 | 30,4 |
| Julio - 2017 | | 880 | 22,1 | 7,7 | 365 | 141 | 290 | 66,0 | 14,4 | 85 | 9 | 79,0 | 40,6 |

| Mes y año | Pozo | CE μ S/cm | T °C | pH | Dureza (mg/l CaCO ₃) | HCO ₃ ⁻ mg/l | SO ₄ ⁼ mg/l | Cl ⁻ mg/l | NO ₃ ⁼ mg/l | Na ⁺ mg/l | K ⁺ mg/l | Ca ²⁺ mg/l | Mg ²⁺ mg/l |
|--------------|------|---------------|------|-----|--|---------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------|-------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Enero - 2015 | 20 | Sin muestra | | | | | | | | | | | |
| Julio -2015 | | 740 | 20,8 | 7,8 | 315 | 135 | 269 | 31,2 | 10,2 | 44 | 6 | 84,0 | 25,5 |
| Enero -2016 | | 710 | 22,6 | 7,8 | 257 | 143 | 258 | 36,9 | 11,1 | 58 | 5 | 68,4 | 20,8 |
| Julio -2016 | | 700 | 20,1 | 7,7 | 280 | 130 | 231 | 29,5 | 10,7 | 54 | 5 | 72,0 | 24,3 |
| Enero -2017 | | 740 | 22,6 | 7,7 | 310 | 130 | 256 | 39,1 | 11,3 | 54 | 7 | 74,0 | 30,4 |
| Julio - 2017 | | 720 | 21,7 | 7,6 | 318 | 130 | 266 | 43,4 | 10,3 | 52 | 7 | 70,4 | 34,4 |

ANEXO 2

En el siguiente anexo se presentan los datos de Conductividad Eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) y el cálculo de la Relación de Absorción de Sodio (RAS) en los periodos de estudio.

| Pozo | X | Y | RAS 2015 enero | CE 2015 enero $\mu\text{S}/\text{cm}$ | RAS 2015 julio | CE 2015 julio $\mu\text{S}/\text{cm}$ | RAS 2016 enero | CE 2016 enero $\mu\text{S}/\text{cm}$ | RAS 2016 julio | CE 2016 julio $\mu\text{S}/\text{cm}$ | RAS 2017 enero | CE 2017 enero $\mu\text{S}/\text{cm}$ | RAS 2017 julio | CE 2017 julio $\mu\text{S}/\text{cm}$ |
|------|---------|---------|----------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| 1 | 2649398 | 6776308 | 1,6 | 1150 | 1,78 | 1150 | 1,87 | 1120 | 1,75 | 1120 | 1,89 | 1150 | 2,07 | 1150 |
| 2 | 2652263 | 6774928 | 2,7 | 1180 | 2,66 | 1100 | 3,08 | 1150 | 2,74 | 1150 | 2,41 | 1190 | 1,86 | 1110 |
| 3 | 2657352 | 6775364 | 4,0 | 1230 | 2,07 | 1220 | S/D | S/D | 3,63 | 1240 | 4,14 | 1220 | 3,27 | 1190 |
| 4 | 2658334 | 6778916 | 3,7 | 1080 | 3,89 | 1110 | 3,13 | 1050 | 2,14 | 990 | 3,79 | 1120 | 2,69 | 1020 |
| 5 | 2659497 | 6776366 | 4,6 | 920 | 5,02 | 1020 | 5,05 | 860 | 2,58 | 860 | 6,11 | 930 | 4,68 | 900 |
| 6 | 2654969 | 6774045 | S/D | S/D |
| 7 | 2654705 | 6773049 | 2,7 | 1370 | 2,89 | 1220 | 2,63 | 1580 | S/D | S/D | 3,73 | 1610 | 2,89 | 1250 |
| 8 | 2656822 | 6771540 | 2,0 | 1250 | S/D | S/D | 3,25 | 1220 | 1,5 | 1190 | 4,13 | 1300 | 3,35 | 1390 |
| 9 | 2654242 | 6770165 | 1,1 | 1380 | 1,89 | 1300 | 1,46 | 1370 | 1,57 | 1300 | 1,8 | 1330 | 1,28 | 1260 |
| 10 | 2654263 | 6768117 | 1,3 | 740 | 1,6 | 750 | 1,48 | 630 | 0,92 | 790 | 1,58 | 760 | 2,12 | 930 |
| 11 | 2656144 | 6767500 | 1,6 | 1070 | S/D | S/D | 0,85 | 930 | S/D | S/D | 2,37 | 990 | 1,53 | 980 |
| 12 | 2657786 | 6766144 | 2,4 | 1130 | 1,69 | 1040 | 2,71 | 1040 | 1,2 | 1050 | 2,4 | 1090 | 2,2 | 1080 |
| 13 | 2662792 | 6765587 | S/D | S/D | 5,04 | 3240 | 4,48 | 2990 | 5 | 3200 | 6,93 | 3190 | 5,65 | 2290 |
| 14 | 2651010 | 6770359 | 2,3 | 720 | 2,35 | 680 | 3,09 | 690 | 1,41 | 750 | 2,91 | 710 | 3 | 710 |
| 15 | 2651152 | 6767872 | 1,3 | 760 | 1,39 | 760 | 1,03 | 630 | 1,35 | 690 | 1,69 | 750 | 1,55 | 600 |
| 16 | 2650743 | 6765802 | 0,9 | 1110 | 1,02 | 1080 | 1,05 | 1160 | 0,56 | 1080 | 1,06 | 1110 | 0,92 | 1040 |
| 17 | 2652711 | 6765446 | 1,6 | 740 | 1,51 | 720 | 1,86 | 740 | 1,63 | 720 | 1,79 | 740 | 1,69 | 730 |
| 18 | 2652309 | 6763263 | 1,8 | 650 | 2 | 660 | 2,15 | 730 | 2,29 | 640 | 1,85 | 640 | 1,77 | 650 |
| 19 | 2654054 | 6762436 | 1,5 | 830 | 1,53 | 850 | 1,94 | 780 | 1,44 | 840 | 1,72 | 840 | 1,94 | 880 |
| 20 | 2650596 | 6761342 | S/D | S/D | 1,08 | 740 | 1,58 | 710 | 1,41 | 700 | 1,34 | 740 | 1,27 | 720 |

ANEXO 3

En el siguiente anexo se presentan los datos relevados con el programa Google Earth Pro.

| N° | Localidad | Sup. Total (Has) | Sup. Sin Cultivo | Sup. Cultivada | Sup. Olivo | Sup. Vid | Nogal y (FS) | Horticultura | Otos Cul. |
|----|--------------|------------------|------------------|----------------|-------------|-------------|--------------|--------------|-----------|
| 1 | TILIMUQUI | 1500 | 1312,6 | 187,4 | 180,13 | 7,27 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | TILIMUQUI | 89 | 45,66 | 43,34 | 0 | 34,77 | 0 | 8,57 | 0 |
| 3 | TILIMUQUI | 109,5 | 22,53 | 86,97 | 18,37 | 44,21 | 24,39 | 0 | 0 |
| 4 | TILIMUQUI | 423 | 408 | 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15 |
| 5 | TILIMUQUI | 308 | 154,4 | 153,6 | 25,6 | 128 | 0 | 0 | 0 |
| 6 | TILIMUQUI | 420 | 173,31 | 246,69 | 14,12 | 232,57 | 0 | 0 | 0 |
| 7 | TILIMUQUI | 54 | 24,56 | 29,44 | 0 | 29,44 | 0 | 0 | 0 |
| 8 | TILIMUQUI | 116 | 15,38 | 100,62 | 0 | 100,62 | 0 | 0 | 0 |
| 9 | TILIMUQUI | 25 | 7,3 | 17,7 | 0 | 17,7 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | TILIMUQUI | 150 | 95,58 | 54,42 | 0 | 54,42 | 0 | 0 | 0 |
| 11 | TILIMUQUI | 10 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12 | TILIMUQUI | 100 | 88 | 12 | 4 | 0 | 5 | 1 | 2 |
| 13 | TILIMUQUI | 45 | 7,14 | 37,86 | 0 | 37,86 | 0 | 0 | 0 |
| 14 | TILIMUQUI | 130 | 27,02 | 102,98 | 0 | 102,98 | 0 | 0 | 0 |
| 15 | TILIMUQUI | 133 | 14,36 | 118,64 | 118,64 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 16 | TILIMUQUI | 54 | 3,89 | 50,11 | 50,11 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 17 | TILIMUQUI | 50 | 8,23 | 41,77 | 0,24 | 39,53 | 2 | 0 | 0 |
| 18 | TILIMUQUI | 50,2 | 25,64 | 24,56 | 4,25 | 10,1 | 0 | 10,21 | 0 |
| 19 | TILIMUQUI | 134 | 81,03 | 52,97 | 1,1 | 51,87 | 0 | 0 | 0 |
| 20 | TILIMUQUI | 50,2 | 16,49 | 33,71 | 0 | 25,71 | 7 | 0 | 1 |
| 21 | MALLIGASTA | 50,3 | 30,67 | 19,63 | 0,63 | 19 | 0 | 0 | 0 |
| 22 | MALLIGASTA | 50 | 13,18 | 36,82 | 0 | 36,82 | 0 | 0 | 0 |
| 23 | MALLIGASTA | 100 | 19,37 | 80,63 | 9,92 | 70,71 | 0 | 0 | 0 |
| 24 | MALLIGASTA | 50 | 27,45 | 22,55 | 0 | 0 | 0 | 22,55 | 0 |
| 25 | MALLIGASTA | 50 | 8,51 | 41,49 | 0 | 41,49 | 0 | 0 | 0 |
| 26 | MALLIGASTA | 7,5 | 1 | 6,5 | 6,5 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 27 | MALLIGASTA | 12,6 | 1,5 | 11,1 | 2,38 | 5,36 | 0 | 3,36 | 0 |
| 28 | MALLIGASTA | 26 | 4,7 | 21,3 | 0 | 21,3 | 0 | 0 | 0 |
| 29 | MALLIGASTA | 66,8 | 11,88 | 54,92 | 0 | 54,92 | 0 | 0 | 0 |
| 30 | MALLIGASTA | 200 | 42,53 | 157,47 | 4,53 | 152,94 | 0 | 0 | 0 |
| 31 | MALLIGASTA | 50,1 | 9,91 | 40,19 | 6,14 | 34,05 | 0 | 0 | 0 |
| 32 | MALLIGASTA | 50,9 | 16,01 | 34,89 | 2,24 | 32,65 | 0 | 0 | 0 |
| 33 | MALLIGASTA | 325 | 26,17 | 298,83 | 276,3 | 22,53 | 0 | 0 | 0 |
| 34 | MALLIGASTA | 12,5 | 2,15 | 10,35 | 10,35 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 35 | MALLIGASTA | 12,5 | 1,29 | 11,21 | 4,53 | 6,68 | 0 | 0 | 0 |
| 36 | MALLIGASTA | 25 | 9,93 | 15,07 | 1,23 | 13,84 | 0 | 0 | 0 |
| 37 | MALLIGASTA | 101 | 30,99 | 70,01 | 0 | 70,01 | 0 | 0 | 0 |
| 38 | MALLIGASTA | 70,8 | 15,3 | 55,5 | 0,36 | 55,14 | 0 | 0 | 0 |
| 39 | MALLIGASTA | 27,4 | 4,86 | 22,54 | 0 | 22,54 | 0 | 0 | 0 |
| 40 | MALLIGASTA | 73 | 11,78 | 61,22 | 1,36 | 59,86 | 0 | 0 | 0 |
| 41 | MALLIGASTA | 51 | 7,9 | 43,1 | 10,83 | 32,27 | 0 | 0 | 0 |
| 42 | MALLIGASTA | 25,2 | 7,23 | 17,97 | 3,75 | 14,22 | 0 | 0 | 0 |
| 43 | MALLIGASTA | 25 | 3,46 | 21,54 | 7,77 | 13,77 | 0 | 0 | 0 |
| 44 | MALLIGASTA | 20,5 | 3,04 | 17,46 | 17,46 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 45 | MALLIGASTA | 28,9 | 3,63 | 25,27 | 11,25 | 14,02 | 0 | 0 | 0 |
| 46 | MALLIGASTA | 32,7 | 7,82 | 24,88 | 0 | 24,88 | 0 | 0 | 0 |
| 47 | MALLIGASTA | 51 | 7,3 | 43,7 | 0 | 11,89 | 0 | 31,81 | 0 |
| 48 | MALLIGASTA | 57 | 7,5 | 49,5 | 11,86 | 37,64 | 0 | 0 | 0 |
| 49 | MALLIGASTA | 200 | 28,78 | 171,22 | 0 | 0 | 0 | 171,22 | 0 |
| 50 | MALLIGASTA | 50 | 17,89 | 32,11 | 0 | 32,11 | 0 | 0 | 0 |
| 51 | MALLIGASTA | 50 | 5,86 | 44,14 | 0,83 | 43,31 | 0 | 0 | 0 |
| 52 | MALLIGASTA | 67,6 | 11,1 | 56,5 | 0 | 56,5 | 0 | 0 | 0 |
| 53 | MALLIGASTA | 60 | 38,12 | 21,88 | 0 | 21,88 | 0 | 0 | 0 |
| 54 | MALLIGASTA | 60 | 50,49 | 9,51 | 0 | 2,48 | 0 | 7,03 | 0 |
| 55 | MALLIGASTA | 63 | 18,76 | 44,24 | 0 | 44,24 | 0 | 0 | 0 |
| 56 | MALLIGASTA | 50 | 6,1 | 43,9 | 43,9 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 57 | MALLIGASTA | 100 | 34,21 | 65,79 | 42,8 | 22,99 | 0 | 0 | 0 |
| 58 | MALLIGASTA | 337 | 335,3 | 1,7 | 1,7 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 59 | ANGUINÁN | 100 | 73,95 | 26,05 | 0 | 26,05 | 0 | 0 | 0 |
| 60 | ANGUINÁN | 45,5 | 18,64 | 26,86 | 0 | 26,86 | 0 | 0 | 0 |
| 61 | ANGUINÁN | 76 | 11,88 | 64,12 | 0 | 27,12 | 37 | 0 | 0 |
| 62 | ANGUINÁN | 31 | 5,53 | 25,47 | 17,91 | 0 | 0 | 7,56 | 0 |
| 63 | ANGUINÁN | 50,3 | 20,18 | 30,12 | 6,53 | 15,94 | 0 | 7,65 | 0 |
| 64 | ANGUINÁN | 48,6 | 39,1 | 9,5 | 0 | 9,5 | 0 | 0 | 0 |
| 65 | ANGUINÁN | 151,91 | 151,91 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 66 | ANGUINÁN | 50,2 | 18 | 32,2 | 1,27 | 30,93 | 0 | 0 | 0 |
| 67 | ANGUINÁN | 334 | 64,71 | 269,29 | 183,14 | 86,15 | 0 | 0 | 0 |
| 68 | ANGUINÁN | 50 | 36,01 | 13,99 | 0 | 13,99 | 0 | 0 | 0 |
| 69 | ANGUINÁN | 48,4 | 25,11 | 23,29 | 7,71 | 14,74 | 0 | 0,84 | 0 |
| 70 | ANGUINÁN | 73 | 47 | 26 | 0 | 16 | 0 | 10 | 0 |
| 71 | ANGUINÁN | 50 | 38,34 | 11,66 | 0 | 11,66 | 0 | 0 | 0 |
| 72 | ANGUINÁN | 50 | 7,19 | 42,81 | 2,94 | 39,87 | 0 | 0 | 0 |
| 73 | ANGUINÁN | 52 | 33,46 | 18,54 | 5,75 | 10,29 | 2,5 | 0 | 0 |
| 74 | ANGUINÁN | 130 | 110,54 | 19,46 | 0 | 19,46 | 0 | 0 | 0 |
| 75 | ANGUINÁN | 158,5 | 52,21 | 106,29 | 13,99 | 92,3 | 0 | 0 | 0 |
| 76 | ANGUINÁN | 100 | 67,05 | 32,95 | 0,25 | 32,7 | 0 | 0 | 0 |
| 77 | ANGUINÁN | 50 | 38,62 | 11,38 | 3,91 | 0 | 0 | 7,47 | 0 |
| 78 | ANGUINÁN | 50 | 11,42 | 38,58 | 0 | 38,58 | 0 | 0 | 0 |
| 79 | ANGUINÁN | 50 | 26,73 | 23,27 | 0 | 23,27 | 0 | 0 | 0 |
| 80 | ANGUINÁN | 182 | 26,51 | 155,49 | 134,35 | 21,14 | 0 | 0 | 0 |
| 81 | ANGUINÁN | 21,5 | 15,5 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 |
| 82 | ANGUINÁN | 335 | 46,84 | 288,16 | 30,19 | 257,97 | 0 | 0 | 0 |
| 83 | ANGUINÁN | 222,4 | 39,98 | 182,42 | 174,22 | 8,2 | 0 | 0 | 0 |
| 84 | ANGUINÁN | 186 | 36,73 | 149,27 | 0 | 149,27 | 0 | 0 | 0 |
| 85 | ANGUINÁN | 32,5 | 11,7 | 20,8 | 2,49 | 18,31 | 0 | 0 | 0 |
| 86 | ANGUINÁN | 1140 | 777,57 | 362,43 | 206,44 | 155,99 | 0 | 0 | 0 |
| | TOTAL | 10510 | 5277 | 5233 | 1687 | 3155 | 78 | 289 | 24 |

ANEXO 4

En el siguiente anexo se presentan los datos relevados con las encuestas.

| N° | Localidad | Sup. Total (Has) | Sup. Cultivada | Sup. Sin Cultivo | Sup. Olivo | Sup. Vid | Nogal y (FS) | Horticultura | Otos Cul. |
|-------|------------|------------------|----------------|------------------|------------|----------|--------------|--------------|-----------|
| 1 | Tilimuqui | 1500 | 170 | 1330 | 160 | 10 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | Tilimuqui | 98 | 88 | 10 | 20 | 43 | 25 | 0 | 0 |
| 3 | Tilimuqui | 423 | 15 | 408 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15 |
| 4 | Tilimuqui | 700 | 165 | 535 | 45 | 120 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | Tilimuqui | 400 | 260 | 140 | 20 | 240 | 0 | 0 | 0 |
| 6 | Tilimuqui | 208 | 30,5 | 177,5 | 0 | 30,5 | 0 | 0 | 0 |
| 7 | Tilimuqui | 125 | 98 | 27 | 0 | 98 | 0 | 0 | 0 |
| 8 | Tilimuqui | 25 | 17 | 8 | 0 | 17 | 0 | 0 | 0 |
| 9 | Tilimuqui | 150 | 53 | 97 | 0 | 53 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | Tilimuqui | 100 | 12 | 88 | 4 | 0 | 5 | 1 | 2 |
| 11 | Tilimuqui | 25 | 23 | 2 | 0 | 23 | 0 | 0 | 0 |
| 12 | Tilimuqui | 100 | 96 | 4 | 2 | 94 | 0 | 0 | 0 |
| 13 | Tilimuqui | 140 | 120 | 20 | 120 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 14 | Tilimuqui | 50 | 42 | 8 | 0 | 40 | 2 | 0 | 0 |
| 15 | Tilimuqui | 80 | 51 | 29 | 2 | 49 | 0 | 0 | 0 |
| 16 | Tilimuqui | 50 | 32,5 | 17,5 | 0 | 24,5 | 7 | 0 | 1 |
| 17 | Malligasta | 50 | 20,00 | 30,00 | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| 18 | Malligasta | 100 | 90,00 | 10,00 | 12 | 78 | 0 | 0 | 0 |
| 19 | Malligasta | 50 | 45,00 | 5,00 | 2 | 43 | 0 | 0 | 0 |
| 20 | Malligasta | 8,5 | 6,50 | 2,00 | 6,5 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 21 | Malligasta | 32 | 30,00 | 2,00 | 6 | 24 | 0 | 0 | 0 |
| 22 | Malligasta | 100 | 63,00 | 37,00 | 3 | 60 | 0 | 0 | 0 |
| 23 | Malligasta | 200 | 105,00 | 95,00 | 20 | 85 | 0 | 0 | 0 |
| 24 | Malligasta | 305 | 291,00 | 14,00 | 275 | 16 | 0 | 0 | 0 |
| 25 | Malligasta | 12,5 | 11,50 | 1,00 | 11,5 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 26 | Malligasta | 12 | 11,00 | 1,00 | 6 | 5 | 0 | 0 | 0 |
| 27 | Malligasta | 25 | 15,00 | 10,00 | 1 | 14 | 0 | 0 | 0 |
| 28 | Malligasta | 100 | 80,00 | 20,00 | 0 | 80 | 0 | 0 | 0 |
| 29 | Malligasta | 65 | 61,00 | 4,00 | 1 | 60 | 0 | 0 | 0 |
| 30 | Malligasta | 23 | 22,00 | 1,00 | 0 | 22 | 0 | 0 | 0 |
| 31 | Malligasta | 80 | 75,00 | 5,00 | 5 | 70 | 0 | 0 | 0 |
| 32 | Malligasta | 50 | 47,00 | 3,00 | 8 | 39 | 0 | 0 | 0 |
| 33 | Malligasta | 25 | 20,00 | 5,00 | 5 | 15 | 0 | 0 | 0 |
| 34 | Malligasta | 20 | 19,00 | 1,00 | 19 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 35 | Malligasta | 30 | 28,00 | 2,00 | 12 | 16 | 0 | 0 | 0 |
| 36 | Malligasta | 50 | 46,00 | 4,00 | 0 | 14 | 0 | 32 | 0 |
| 37 | Malligasta | 55 | 51,00 | 4,00 | 20 | 31 | 0 | 0 | 0 |
| 38 | Malligasta | 50 | 37,00 | 13,00 | 4 | 33 | 0 | 0 | 0 |
| 39 | Malligasta | 50 | 47,00 | 3,00 | 2 | 45 | 0 | 0 | 0 |
| 40 | Malligasta | 54 | 50,00 | 4,00 | 0 | 50 | 0 | 0 | 0 |
| 41 | Malligasta | 65 | 25,00 | 40,00 | 0 | 25 | 0 | 0 | 0 |
| 42 | Malligasta | 50 | 46,00 | 4,00 | 41 | 5 | 0 | 0 | 0 |
| 43 | Malligasta | 52 | 50,00 | 2,00 | 50 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 44 | Malligasta | 200 | 63,00 | 137,00 | 43 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| 45 | Malligasta | 300 | 0,50 | 299,50 | 0,5 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 46 | Anguinán | 50 | 30,00 | 20,00 | 0 | 30 | 0 | 0 | 0 |
| 47 | Anguinán | 50 | 34,00 | 16,00 | 1 | 33 | 0 | 0 | 0 |
| 48 | Anguinán | 46 | 13,00 | 33,00 | 0 | 13 | 0 | 0 | 0 |
| 49 | Anguinán | 50 | 38,00 | 12,00 | 14 | 19 | 0 | 5 | 0 |
| 50 | Anguinán | 228 | 26,00 | 202,00 | 0 | 16 | 0 | 10 | 0 |
| 51 | Anguinán | 50 | 10,00 | 40,00 | 0 | 10 | 0 | 0 | 0 |
| 52 | Anguinán | 70 | 55,00 | 15,00 | 20 | 35 | 0 | 0 | 0 |
| 53 | Anguinán | 52 | 16,50 | 35,50 | 7,5 | 7 | 2 | 0 | 0 |
| 54 | Anguinán | 200 | 12,00 | 188,00 | 0 | 12 | 0 | 0 | 0 |
| 55 | Anguinán | 50 | 34,00 | 16,00 | 0 | 34 | 0 | 0 | 0 |
| 56 | Anguinán | 50 | 40,00 | 10,00 | 0 | 40 | 0 | 0 | 0 |
| 57 | Anguinán | 160 | 140,0 | 20,0 | 120 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| 58 | Anguinán | 14 | 6,0 | 8,0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 |
| 59 | Anguinán | 290 | 260,0 | 30,0 | 12 | 248 | 0 | 0 | 0 |
| 60 | Anguinán | 188 | 156,0 | 32,0 | 0 | 156 | 0 | 0 | 0 |
| 61 | Anguinán | 70 | 20,0 | 50,0 | 5 | 15 | 0 | 0 | 0 |
| 62 | Anguinán | 900 | 460,0 | 440,0 | 320 | 103 | 37 | 0 | 0 |
| Total | | 8906 | 4079 | 4827 | 1426 | 2503 | 78 | 48 | 24 |

ANEXO 4

En el siguiente anexo se presentan los datos relevados con las encuestas.

| N° | Localidad | Cantidad de Pozos | Funcionando | Sin Bomba pero en condiciones de funcionar o con bomba y sin funcionar | Con Problemas hidraulicos (Abandonados) | Numero de Pozo Funcionado | Potencia en Hp | Caudal Extraido (m3/h) | Profundidad total de cada perforación (Metros) | Profundidad de la Bomba |
|-----|------------|-------------------|-------------|--|---|---------------------------|----------------|------------------------|--|-------------------------|
| 1 | Malligasta | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 | 75 | 120 | 148 | 93 |
| 2 | Malligasta | 3 | 2 | 1 | 0 | 1 | 150 | sin dato | sin dato | 120 |
| 3 | Tilimuqui | 5 | 2 | 3 | 0 | 1 | 250 | 210 | 270 | 210 |
| 4 | Tilimuqui | 8 | 6 | 1 | 1 | 2 | 250 | 250 | 270 | 190 |
| 5 | Tilimuqui | 2 | 2 | 0 | 0 | 1 | 100 | 80 | 200 | 70 |
| 6 | Tilimuqui | 1 | 1 | 0 | 0 | 2 | 75 | 70 | 0 | 70 |
| 7 | Tilimuqui | 1 | 1 | 0 | 0 | 3 | 100 | 80 | 200 | 70 |
| 8 | Tilimuqui | 2 | 1 | 1 | 0 | 4 | 100 | 80 | 200 | 70 |
| 9 | Malligasta | 4 | 3 | 0 | 1 | 5 | 100 | 80 | 200 | 70 |
| 10 | Malligasta | 4 | 2 | 0 | 2 | 7 | 100 | 80 | 200 | 70 |
| 11 | Anguinán | 3 | 2 | 1 | 0 | 1 | 100 | 110 | 180 | 80 |
| 12 | Malligasta | 6 | 3 | 0 | 3 | 2 | 100 | 120 | 180 | 80 |
| 13 | Malligasta | 3 | 1 | 0 | 2 | 1 | 60 | 110 | 180 | 60 |
| 14 | Malligasta | 6 | 4 | 0 | 2 | 1 | 100 | 200 | 165 | 95 |
| 15 | Malligasta | 3 | 1 | 0 | 2 | 1 | 75 | 160 | 120 | 90 |
| 16 | Malligasta | 5 | 2 | 0 | 3 | 2 | 30 | 80 | 120 | 90 |
| 17 | Malligasta | 3 | 1 | 0 | 2 | 1 | 40 | 120 | 110 | 90 |
| 18 | Anguinán | 2 | 1 | 0 | 1 | 2 | 30 | 70 | 110 | 90 |
| 19 | Malligasta | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 125 | 160 | 180 | 120 |
| 20 | Malligasta | 1 | 1 | 0 | 0 | 2 | 125 | 140 | 180 | 150 |
| 21 | Tilimuqui | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 10 | 20 | 180 | 172 |
| 22 | Tilimuqui | 2 | 1 | 1 | 0 | 2 | 100 | 120 | 180 | 90 |
| 23 | Malligasta | 2 | 2 | 0 | 0 | 3 | 100 | 115 | 180 | 102 |
| 24 | Tilimuqui | 3 | 3 | 0 | 0 | 1 | 100 | 150 | 164 | 102 |
| 25 | Tilimuqui | 4 | 4 | 0 | 0 | 1 | 15 | 30 | 165 | entre 97 y 102 |
| 26 | Anguinán | 2 | 1 | 0 | 1 | 2 | 100 | 130 | entre 165 y 200 | entre 97 y 102 |
| 27 | Tilimuqui | 4 | 2 | 0 | 2 | 3 | 100 | 130 | entre 165 y 200 | entre 97 y 102 |
| 28 | Malligasta | 8 | 7 | 0 | 1 | 4 | 100 | 115 | entre 165 y 200 | entre 97 y 102 |
| 29 | Malligasta | 3 | 2 | 1 | 0 | 1 | 100 | 170 | 165 | 102 |
| 30 | Malligasta | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 100 | 130 | 170 | 92 |
| 31 | Malligasta | 3 | 1 | 0 | 2 | 2 | 100 | 130 | 170 | 95 |
| 32 | Malligasta | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 | 100 | 130 | 170 | 95 |
| 33 | Anguinán | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 100 | 120 | 200 | 97 |
| 34 | Anguinán | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 | 75 | 120 | 160 | 75 |
| 35 | Anguinán | 2 | 2 | 0 | 0 | 1 | 84 | 125 | 110 | 106 |
| 36 | Anguinán | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 | 100 | 180 | 200 | 90 |
| 37 | Anguinán | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 | 100 | 180 | 165 | 80 |
| 38 | Anguinán | 2 | 2 | 0 | 0 | 1 | 90 | 150 | 180 | 90 |
| 39 | Anguinán | 2 | 1 | 0 | 1 | 2 | 60 | 100 | 180 | 110 |
| 40 | Anguinán | 4 | 1 | 0 | 3 | 1 | 80 | 120 | 120 | 75 |
| 41 | Anguinán | 2 | 1 | 0 | 1 | 2 | 80 | 125 | 120 | 75 |
| 42 | Anguinán | 1 | 1 | 0 | 0 | 3 | 100 | 160 | 120 | 75 |
| 43 | Anguinán | 5 | 4 | 1 | 0 | 1 | 40 | sin dato | 120 | 77 |
| 44 | Anguinán | 2 | 1 | 0 | 1 | 2 | 80 | sin dato | 120 | 77 |
| 45 | Anguinán | 3 | 1 | 0 | 2 | 3 | 100 | sin dato | 120 | 77 |
| 46 | Anguinán | 2 | 1 | 0 | 1 | 4 | 125 | sin dato | 120 | 77 |
| 47 | Anguinán | 10 | 2 | 2 | 6 | 1 | 100 | 130 | 120 | 80 |
| 48 | Anguinán | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 | 50 | 80 | 200 | 80 |
| 49 | Anguinán | 17 | 12 | 5 | 0 | 2 | 100 | 180 | 170 | 80 |
| 50 | Anguinán | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 100 | 120 | 200 | 100 |
| 51 | Anguinán | 1 | 1 | 0 | 0 | 3 | 125 | 180 | 200 | 100 |
| 52 | Anguinán | 1 | 1 | 0 | 0 | 4 | 125 | 170 | 200 | 100 |
| 53 | Anguinán | 1 | 1 | 0 | 0 | 5 | 100 | 130 | 200 | 100 |
| 54 | Anguinán | 1 | 1 | 0 | 0 | 6A | 50 | 80 | 200 | 100 |
| 55 | Anguinán | 1 | 1 | 0 | 0 | 6B | 50 | 80 | 200 | 100 |
| 56 | Anguinán | 1 | 1 | 0 | 0 | 7 | 100 | 150 | 200 | 100 |
| 57 | Anguinán | 1 | 1 | 0 | 0 | 9 | 75 | 110 | 190 | 85 |
| 58 | Anguinán | 1 | 1 | 0 | 0 | 10 | 125 | 220 | 155 | 98 |
| 59 | Anguinán | 1 | 1 | 0 | 0 | 11 | 125 | 245 | 200 | 103 |
| 60 | Anguinán | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 75 | 105 | 120 | 84 |
| 61 | Anguinán | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 45 | 60 | sin dato | sin dato |
| 62 | Anguinán | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 150 | 160 | 200 | 120 |
| 63 | Anguinán | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 | 100 | 175 | 140 | 80 |
| 64 | Anguinán | 2 | 2 | 0 | 0 | 1 | 10 | 20 | 80 | sin dato |
| 65 | Anguinán | 2 | 1 | 0 | 1 | 2 | 85 | 90 | 180 | sin dato |
| 66 | Anguinán | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 | 75 | sin dato | sin dato | 75 |
| 67 | Anguinán | 10 | 2 | 2 | 6 | 1 | 3 | sin dato | sin dato | 40 |
| 68 | Anguinán | 10 | 2 | 2 | 6 | 2 | 50 | 70 | 140 | 55 |
| 69 | Anguinán | 3 | 3 | 0 | 0 | 1 | 75 | 125 | 140 | 95 |
| 70 | Anguinán | 3 | 3 | 0 | 0 | 2 | 75 | 125 | 140 | 90 |
| 71 | Anguinán | 2 | 1 | 0 | 1 | 3 | 75 | 125 | 140 | 105 |
| 72 | Anguinán | 4 | 1 | 0 | 3 | 1 | 100 | 200 | 120 | 86 |
| 73 | Anguinán | 4 | 1 | 0 | 3 | 1 | 125 | 245 | 200 | 103 |
| 74 | Anguinán | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 | 75 | 105 | 120 | 84 |
| 75 | Anguinán | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 45 | 60 | sin dato | sin dato |
| 76 | Anguinán | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 150 | 160 | 200 | 120 |
| 77 | Anguinán | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 | 100 | 175 | 140 | 80 |
| 78 | Anguinán | 2 | 2 | 0 | 0 | 1 | 10 | 20 | 80 | sin dato |
| 79 | Anguinán | 2 | 1 | 0 | 1 | 2 | 85 | 90 | 180 | sin dato |
| 80 | Anguinán | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 | 75 | sin dato | sin dato | 75 |
| 81 | Anguinán | 10 | 2 | 2 | 6 | 1 | 3 | sin dato | sin dato | 40 |
| 82 | Anguinán | 10 | 2 | 2 | 6 | 2 | 50 | 70 | 140 | 55 |
| 83 | Anguinán | 3 | 3 | 0 | 0 | 1 | 75 | 125 | 140 | 95 |
| 84 | Anguinán | 3 | 3 | 0 | 0 | 2 | 75 | 125 | 140 | 90 |
| 85 | Anguinán | 2 | 1 | 0 | 1 | 3 | 75 | 125 | 140 | 105 |
| 86 | Anguinán | 4 | 1 | 0 | 3 | 1 | 100 | 200 | 120 | 86 |
| 87 | Anguinán | 4 | 1 | 0 | 3 | 1 | 125 | 245 | 200 | 103 |
| 88 | Anguinán | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 | 75 | 105 | 120 | 84 |
| 89 | Anguinán | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 45 | 60 | sin dato | sin dato |
| 90 | Anguinán | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 150 | 160 | 200 | 120 |
| 91 | Anguinán | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 | 100 | 175 | 140 | 80 |
| 92 | Anguinán | 2 | 2 | 0 | 0 | 1 | 10 | 20 | 80 | sin dato |
| 93 | Anguinán | 2 | 1 | 0 | 1 | 2 | 85 | 90 | 180 | sin dato |
| 94 | Anguinán | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 | 75 | sin dato | sin dato | 75 |
| 95 | Anguinán | 10 | 2 | 2 | 6 | 1 | 3 | sin dato | sin dato | 40 |
| 96 | Anguinán | 10 | 2 | 2 | 6 | 2 | 50 | 70 | 140 | 55 |
| 97 | Anguinán | 3 | 3 | 0 | 0 | 1 | 75 | 125 | 140 | 95 |
| 98 | Anguinán | 3 | 3 | 0 | 0 | 2 | 75 | 125 | 140 | 90 |
| 99 | Anguinán | 2 | 1 | 0 | 1 | 3 | 75 | 125 | 140 | 105 |
| 100 | Anguinán | 4 | 1 | 0 | 3 | 1 | 100 | 200 | 120 | 86 |
| 101 | Anguinán | 4 | 1 | 0 | 3 | 1 | 125 | 245 | 200 | 103 |
| 102 | Anguinán | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 | 75 | 105 | 120 | 84 |
| 103 | Anguinán | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 45 | 60 | sin dato | sin dato |
| 104 | Anguinán | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 150 | 160 | 200 | 120 |
| 105 | Anguinán | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 | 100 | 175 | 140 | 80 |
| 106 | Anguinán | 2 | 2 | 0 | 0 | 1 | 10 | 20 | 80 | sin dato |
| 107 | Anguinán | 2 | 1 | 0 | 1 | 2 | 85 | 90 | 180 | sin dato |
| 108 | Anguinán | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 | 75 | sin dato | sin dato | 75 |
| 109 | Anguinán | 10 | 2 | 2 | 6 | 1 | 3 | sin dato | sin dato | 40 |
| 110 | Anguinán | 10 | 2 | 2 | 6 | 2 | 50 | 70 | 140 | 55 |
| 111 | Anguinán | 3 | 3 | 0 | 0 | 1 | 75 | 125 | 140 | 95 |
| 112 | Anguinán | 3 | 3 | 0 | 0 | 2 | 75 | 125 | 140 | 90 |
| 113 | Anguinán | 2 | 1 | 0 | 1 | 3 | 75 | 125 | 140 | 105 |
| 114 | Anguinán | 4 | 1 | 0 | 3 | 1 | 100 | 200 | 120 | 86 |
| 115 | Anguinán | 4 | 1 | 0 | 3 | 1 | 125 | 245 | 200 | 103 |
| 116 | Anguinán | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 | 75 | 105 | 120 | 84 |
| 117 | Anguinán | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 45 | 60 | sin dato | sin dato |
| 118 | Anguinán | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 150 | 160 | 200 | 120 |
| 119 | Anguinán | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 | 100 | 175 | 140 | 80 |
| 120 | Anguinán | 2 | 2 | 0 | 0 | 1 | 10 | 20 | 80 | sin dato |
| 121 | Anguinán | 2 | 1 | 0 | 1 | 2 | 85 | 90 | 180 | sin dato |
| 122 | Anguinán | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 | 75 | sin dato | sin dato | 75 |
| 123 | Anguinán | 10 | 2 | 2 | 6 | 1 | 3 | sin dato | sin dato | 40 |
| 124 | Anguinán | 10 | 2 | 2 | 6 | 2 | 50 | 70 | 140 | 55 |
| 125 | Anguinán | 3 | 3 | 0 | 0 | 1 | 75 | 125 | 140 | 95 |
| 126 | Anguinán | 3 | 3 | 0 | 0 | 2 | 75 | 125 | 140 | 90 |
| 127 | Anguinán | 2 | 1 | 0 | 1 | 3 | 75 | 125 | 140 | 105 |
| 128 | Anguinán | 4 | 1 | 0 | 3 | 1 | 100 | 200 | 120 | 86 |
| 129 | Anguinán | 4 | 1 | 0 | 3 | 1 | 125 | 245 | 200 | 103 |
| 130 | Anguinán | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 | 75 | 105 | 120 | 84 |
| 131 | Anguinán | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 45 | 60 | sin dato | sin dato |
| 132 | Anguinán | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 150 | 160 | 200 | 120 |
| 133 | Anguinán | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 | 100 | 175 | 140 | 80 |
| 134 | Anguinán | 2 | 2 | 0 | 0 | 1 | 10 | 20 | 80 | sin dato |
| 135 | Anguinán | 2 | 1 | 0 | 1 | 2 | 85 | 90 | 180 | sin dato |
| 136 | Anguinán | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 | 75 | sin dato | sin dato | 75 |
| 137 | Anguinán | 10 | 2 | 2 | 6 | 1 | 3 | sin dato | sin dato | 40 |
| 138 | Anguinán | 10 | 2 | 2 | 6 | 2 | 50 | 70 | 140 | 55 |
| 139 | Anguinán | 3 | 3 | 0 | 0 | 1 | 75 | 125 | 140 | 95 |
| 140 | Anguinán | 3 | 3 | 0 | 0 | 2 | 75 | 125 | 140 | 90 |
| 141 | Anguinán | 2 | 1 | 0 | 1 | 3 | 75 | 125 | 140 | 105 |
| 142 | Anguinán | 4 | 1 | 0 | 3 | 1 | 100 | 200 | 120 | 86 |
| 143 | Anguinán | 4 | 1 | 0 | 3 | 1 | 125 | 245 | 200 | 103 |
| 144 | Anguinán | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 | 75 | 105 | 120 | 84 |
| 145 | Anguinán | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 45 | 60 | sin dato | sin dato |
| 146 | Anguinán | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 150 | 160 | 200 | 120 |
| 147 | Anguinán | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 | 100 | 175 | 140 | 80 |
| 148 | Anguinán | 2 | 2 | 0 | 0 | 1 | 10 | 20 | 80 | sin dato |
| 149 | Anguinán | 2 | 1 | 0 | 1 | 2 | 85 | 90 | 180 | sin dato |
| 150 | Anguinán | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 | | | | |