

## **ESTUDIO DE LOS DESCENSOS DE LOS NIVELES DEL ACUÍFERO CHACABUCO-POLPAICO.**

### **STUDY OF THE DECLINING LEVELS OF THE CHACABUCO-POLPAICO AQUIFER.**

Sr. Iván Quinteros Korzyniewski<sup>1</sup>, Sra. Jiselle Rojas Barra<sup>1</sup>

#### **RESUMEN**

Chile durante la última década ha experimentado una mega sequía que ha afectado a la Zona Central y norte de Chile. Esto ha provocado cada año un nuevo récord por falta de precipitaciones. Las predicciones indican que esta mega sequía continuaría con una disminución de precipitaciones y sus efectos asociados de disminución de los caudales y de los niveles freáticos en los distintos acuíferos. La provincia de Chacabuco, ha sido una de las más afectadas en la Zona Central, siendo el embalse Huechún (Til Til) uno de los puntos más críticos de la zona, que en la actualidad se encuentra totalmente seco.

El anterior es uno de los principales fundamentos para dar inicio a esta investigación, donde se analiza en profundidad los efectos de la sobreexplotación sobre el acuífero y sus variaciones en las últimas décadas, considerando elementos hidrogeológicos, además de los cambios que se han producido por la sobre explotación del recurso hídrico en el sector del acuífero Chacabuco-Polpaico.

Palabras clave: pozos, nivel estático, sequía, precipitaciones.

#### **ABSTRACT**

Chile during the last decade has experienced a mega drought that has affected central and northern Chile. This has caused a new record every year due to lack of rainfall. The predictions indicate that the mega-drought would continue with a decrease in rainfall and its associated effects of decreasing flows and water table levels in the different aquifers. The province of Chacabuco-Polpaico has been one of the most affected in the Central Zone, with the Huechún reservoir (Til Til) being one of the most critical points in the area, which is currently totally dry.

This is one of the main reason to start this research, where the effects on the aquifer and its variations in recent decades are analyzed in depth, considering hydrogeological elements, in addition to the changes that have occurred due to the over-exploitation of the resource. water in the Chacabuco-Polpaico aquifer sector.

Keywords: wells, static level, drought, precipitation.

---

<sup>1</sup> Escuela Ciencias de la Tierra, Universidad Bernardo O'Higgins

Fecha de recepción: 15 de Agosto de 2021.

Fecha de aceptación: 3 de noviembre de 2021.

## INTRODUCCIÓN

El agua es un elemento esencial de la naturaleza que se encuentra presente en todos los ecosistemas naturales. Este recurso está siendo cada vez más escaso en las zonas áridas y semiáridas, teniendo una escasez hídrica importante, debido a las escasas precipitaciones registradas en los últimos 10 años y por la sobreexplotación a la que este recurso está siendo sometido.

En este contexto, las aguas subterráneas son un componente importante dentro del ciclo hidrológico en zonas áridas y semiáridas como fuente para suplir las necesidades ecológicas y humanas. También es un elemento clave para muchos procesos hidrológicos.

A nivel mundial se ha visto una gran actividad en la extracción de agua del subsuelo, lo que implica un consumo progresivo del agua que se encontraba almacenada, y esto ha acarreado numerosas consecuencias negativas. Si esta situación de sobreexplotación continua, es posible que los acuíferos terminen incluso agotándose.

Este recurso es clave tanto en los suministros urbanos como rurales y, se puede decir, que es un recurso estratégico en caso de alguna falla de otras fuentes de agua. Estas llegan a abastecer hasta el 50% del agua potable de la población mundial y representan un 43% de toda el agua utilizada para el riego (FAO, 2010). “A nivel mundial, 2.500 millones de personas dependen exclusivamente de los recursos de aguas subterráneas para satisfacer sus necesidades básicas diarias de agua” (Alice Franek, 2015).

Chile no ha estado ajeno a la falta de agua y ha estado experimentando una alteración en las precipitaciones, que se atribuyen a la mega sequía que afecta al país, tanto en la zona norte como en la Zona Central de Chile. Esto ha provocado cada año un nuevo récord por falta de agua, y esta situación continuaría acentuando la disminución de los caudales y la disminución de los niveles freáticos

de los acuíferos. *Center of climate and resilience research* comenta que “cerca de un cuarto del déficit de precipitación durante la mega sequía es atribuible al cambio climático antrópico. Este factor permanece en el futuro, incrementando la ocurrencia de sequías como la actual y aumentando la aridificación de la zona centro y sur de Chile” (René Garreaud, 2015).

Esta situación se volvería cada vez más crítica ante los escenarios de un cambio climático, dado que ríos y esteros son la principal fuente de suministro de agua potable y de riego, de la Región Metropolitana.

El área de estudio corresponde al sector acuífero de Chacabuco-Polpaico, donde se encuentran la Comuna de Tiltil, y la Comuna de Colina, ubicada al norte de la Región Metropolitana, en los 32° 54' y 33° 14' latitud sur y entre los 70° 44' y 71°02' de longitud oeste.

Por otra parte, la Dirección General de Aguas señala que, “En el caso del Valle de Chacabuco el problema es la falta de agua debido a su inadecuada gestión, por problemas de derechos de uso. Además, la falta de fiscalización en la búsqueda de explotaciones de agua ilegales ha perjudicado la estimación del balance hídrico de la cuenca” (Municipalidad Colina, 2019).

El objetivo principal de esta investigación es evaluar los efectos que ha tenido la explotación del acuífero Chacabuco-Polpaico durante los últimos 50 años y sus efectos sobre los cursos de aguas superficiales y sobre los descensos permanentes de niveles freáticos.

## ÁREA DE ESTUDIO

### ANTECEDENTES ACUÍFERO

El acuífero de Chacabuco-Polpaico, se encuentra en la provincia de Chacabuco ubicada en el norte de la Región Metropolitana, en los 32° 54' y 33° 14' latitud sur y entre los 70° 44' y 71°02' de longitud

oeste. Esta provincia, compuesta por las comunas de Colina, Lampa y Tiltil, tiene una superficie de 2.076.1 km<sup>2</sup> y posee una población de 132,798 habitantes, de los cuales 99.201 son urbanos y 33.597 rurales (INE, 2020).

En cuanto a su superficie, la provincia de Chacabuco ocupa la tercera posición con el 13,5 % del territorio regional con 1.800 km<sup>2</sup>.

El área de estudio presenta un clima mediterráneo, esto quiere decir que cuenta con estaciones secas y de larga duración, y con un invierno lluvioso, las precipitaciones presentan una irregularidad, debido a que un año puede ser muy lluvioso y el siguiente muy seco. (Biblioteca del congreso nacional de Chile, 2020).

La temperatura media anual es de 13,9°C, y el mes más cálido de la provincia corresponde al mes de enero, alcanzando una temperatura de 22.1°C, y el mes más frío corresponde al mes de julio con 7,7°C (Biblioteca Del Congreso Nacional De Chile, 2020)

El sector presenta una importante concentración de actividad industrial, principalmente la industria minera, que actualmente se encuentra en operación, una de ellas es Anglo American que cuenta con una planta de procesamientos para obtener cobre, los desechos de esta empresa minera se van directamente al tranque las tórtolas (SONAMI, 2020).

Como se puede observar en la fig.1 se observan dos tranques de relaves de gran envergadura. El primero es el Tranque Ovejerías que pertenece a la Minera Codelco, que cuenta con una extensión de 1900 hectáreas y con una vida útil hasta el año 2064. El segundo, es el Tranque Las Tórtolas perteneciente al grupo minero Anglo American S.A. y cuenta con un área de relaves actual de 960 hectáreas y con una vida útil hasta el año 2042.

Las características morfológicas donde se encuentra el acuífero Chacabuco-Polpaico abarcan la cuenca de Santiago cuya superficie es de 3.000 km<sup>2</sup> y la precordillera andina. El área de estudio se

ubica en la Depresión Intermedia, que en esta latitud es denominada Cuenca Transicional Semiárida.

El Acuífero limita al norte con el cordón de Chacabuco, está pertenece a una cadena montañosa que cruza de forma transversal entre la Cordillera de los Andes y la Cordillera de la Costa. Por el este, el área limita con cordones montañosos pertenecientes a la Cordillera de los Andes, por el oeste, con la Cordillera de la Costa y al sur con los cerros de Colina y Polpaico.

El tranque de relaves Ovejería cuenta con un conjunto de pozos en una barrera hidráulica que capta las aguas que son infiltradas por el tranque y las envía a una planta de osmosis inversa para su tratamiento, que tiene como función captar las aguas de la napa subterránea e impulsarse hacia la denominada Sentina Sur, las cuales se utilizarán para agua de proceso y operación del tranque y así, evitar la mezcla de estas con las aguas subterráneas del acuífero principal del Chacabuco-Polpaico (CODELCO, 2018). Ambos tranques poseen sistemas de transporte de desechos mineros que son a través de tuberías desde las cuencas altas de la Cordillera de Los Andes, que eliminan esa entrega de agua a través de evaporación, ambas poseen medidas que impiden la infiltración de aguas contaminadas hasta el acuífero. También se encuentra el embalse de Huechún, sin embargo, este embalse de riego se halla seco en la actualidad desde que Codelco compró vastos sectores del área a mediados de los años 90.



Fig.1 Mapa área de estudio. Elaboración propia con base imagen USGS.

## Geología

El área de estudio se encuentra localizada en una zona montañosa compuesta principalmente por rocas volcánicas de edad cretácica. Estas rocas se reconocen en las laderas del Valle de Chacabuco y también han sido reconocidas en la base de algunos sondeos profundos, realizados en el Valle para la búsqueda y explotación de aguas subterráneas. Las rocas corresponden principalmente a secuencias volcano sedimentarias, caracterizadas por la presencia de brechas y conglomerados volcánicos intercalados con lavas de composición andesítica. Además, se reconocen niveles piroclásticos (tobas líticas y vítreas).

El relleno sedimentario del Valle, está compuesto principalmente por depósitos aluviales y fluviales. Corresponde a secuencias de gravas, arenas y algunos niveles de arcillas.

## Hidrología

El sistema hídrico del acuífero se ubica en la sub cuenca del estero Chacabuco, este a su vez pertenece al Estero Lampa, que a su vez está conectado con la cuenca del río Maipo, aunque el área de estudio es drenada principalmente por el estero Chacabuco.

Estos ríos nacen en una zona montañosa, donde hay una serie de quebradas y drenaje de tipo dendrítico que alcanzan al estero Chacabuco.

La cuenca tiene una superficie de 663,63 km<sup>2</sup>, tiene 2 canales principales, los cuales son alimentados por drenajes que alcanzan la zona alta montañosa y en la zona baja. El caudal Chacabuco, posee un carácter efímero, esto quiere decir, que el río sólo presenta escorrentía como respuesta a precipitaciones, estando seco la mayor parte del año.

En el año 2005 el sector Chacabuco-Polpaico, perteneciente al acuífero Maipo fue declarado área de restricción de aguas subterráneas según resolución DGA 286. (DGA, 2020)

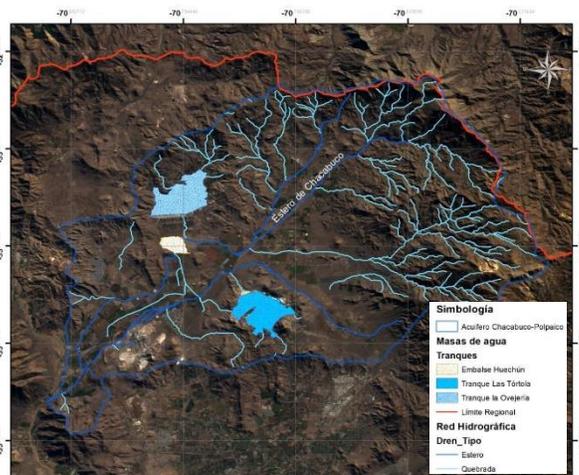


Fig.2 Mapa Hidrográfico área de estudio Chacabuco-Polpaico. Elaboración propia con base imagen USGS 2020.

## METODOLOGÍA

Para esta investigación fue necesario estudiar cartográficamente el área, reconocer toda la superficie del acuífero en su extensión, sus cuencas, relieves, esteros y quebradas. Se recopiló información del acuífero, se obtuvieron imágenes satelitales de la cuenca hidrográfica (USGS, 2020) de años anteriores, se realizó un análisis de las precipitaciones mensuales, cuya información es obtenida de los datos de las estaciones meteorológicas presentes en la zona, estación Huechún Embalse y estación Huechún Andina, información obtenida desde datos meteorológicos de la Dirección General de Aguas (DGA, 2020) y la Dirección Meteorológica de Chile (DMC, 2020). De esta forma se puede percibir, como el acuífero ha tenido cambios notorios a través de los años, que pueden atribuirse a una sobreexplotación o a la sequía que afecta la zona. Se analizó la información meteorológica disponible en la zona, obteniéndose resultados estadísticos de los registros y estacionalidad de las precipitaciones y temperatura. De la información disponible se seleccionaron aquellas estaciones que estuvieran dentro de la zona de estudio, el cual solo existen 2 estaciones meteorológicas monitoreadas por la DGA: Huechún Embalse y Huechún Andina.

La estación meteorológica Huechún Andina, pertenece a la cuenca del río Maipo, tiene una altitud (msnm) de 590, localizada en el sector Norte del tranque de relaves Ovejerías de Codelco, nos permite analizar una serie de datos climatológicos de la cuenca del estero Chacabuco.

La estación meteorológica Huechún Embalse, pertenece a la cuenca del río Maipo, con una altitud (msnm) de 556.

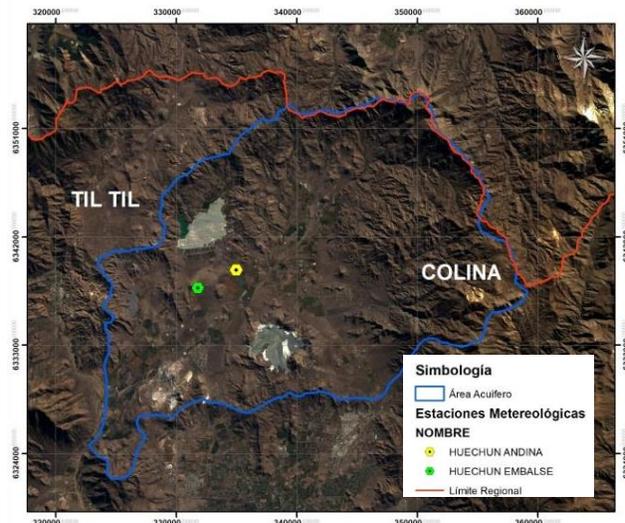


Fig.3 Mapa Estaciones Meteorológicas Chacabuco-Polpaico. Elaboración propia con base imagen de USGS.

En cuanto a las precipitaciones, presentan una gran irregularidad, ya que un año puede ser muy lluvioso, pero el siguiente puede ser bastante seco. En el sector de Colina, existen climas más áridos y con mayores fluctuaciones térmicas, que reflejan la penetración del clima de estepa (que cuenta con un clima continental semiárido caracterizado por veranos calurosos e inviernos fríos y secos), este fenómeno se debe principalmente a la presencia de la cordillera costera, que actúa como pantalla, dificultando la entrada de las condiciones climáticas marítimas.

En los siguientes gráficos se mostrarán las precipitaciones de las estaciones del área de estudio, datos que fueron extraídos de la Dirección General de Aguas, (Ministerio de Obras Públicas), de los años 1990 hasta el año 2019, con las

precipitaciones mensuales (mm) correspondiente a cada año. Como se puede observar en el gráfico de la estación Huechún Andina en el año 2019 las precipitaciones fueron en descenso.



Gráfico 1. Precipitaciones anuales año 1990-2019 Estación Huechún Andina. Elaboración propia con datos de la DGA 1990-2019.

En relación a las precipitaciones que ha tenido el área de estudio en las últimas 3 décadas, desde 1990 al 2010 las precipitaciones han tenido un promedio de 200 mm por año, según datos obtenidos, sin embargo, en los últimos 10 años las precipitaciones se han mantenido bajo de ese promedio.

En el mes de febrero del año 2008, la provincia de Chacabuco, fue declarada 'Zonas de Escasez Hídrica' por parte de las autoridades, aplicándose una serie de acciones para mitigar su impacto, en especial en la agricultura y la ganadería. (DGA, 2020).

## ESTACIONES DE MONITOREO

Se analizaron 14 pozos de monitoreo con sus respectivos niveles estáticos con datos actuales del año 2019, para posteriormente realizar un mapa freático de la zona acuífera. Estos registros fueron obtenidos de la Dirección General de Aguas (2020).

En la siguiente tabla se mostrarán las principales características de los pozos utilizados, 7 pozos corresponden a la comuna de Colina y los otros 7 a la comuna de Tiltil.

Tabla 1. Pozos de monitoreo

N°	Nombre	Codigo BNA	Altitud (msnm)	UTM Este (mts)	UTM Norte (mts)
1	Cera Union Huechun	05731006-5	599	336424	6337447
2	Chilectra Polpaico	05732003-6	548	329604	6334094
3	Reserva Fundo Polpaico	05732004-4	530	327037	6330568
4	Parcela 5 Polpaico	05732005-2	532	326461	6331422
5	Fundo Santa Ana	05732006-0	695	330970	6332866
6	Huertos Fam. Cerro Blanco	05732007-9	561	332602	6331658
7	Fabrica Polpaico	05732008-7	532	328728	6330014
8	Asentamiento Los Maitenes	05732010-9	561	332582	6335582
9	Fundo Montecarlo (ex venceremos)	05732011-7	575	335175	6336067
10	Fundo los Talaveras	05731001-4	696	341010	6345630
11	Hacienda Chacabuco	05731002-2	716	342791	6344707
12	Fundo los Tahuretes	05731003-0	657	340306	6343563
13	Los Guayacanes	05731004-9	623	338064	6340262
14	Asentamiento Chacabuco	05731005-7	645	339646	6339071

Fuente: Dirección General de aguas 2020.

Cabe indicar que no todos los pozos donde se toman mediciones del nivel freático son exclusivos para este fin, ya que existen algunos pozos en los que se realizan extracciones de agua para diversos usos, además son usados para mediciones periódicas del nivel de agua del acuífero por el Departamento de Hidrología de la DGA.

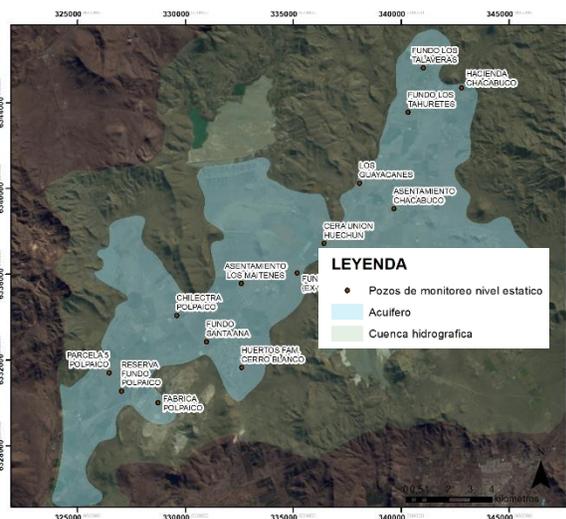


Fig.4 Mapa Estaciones de monitoreo Chacabuco-Polpaico. Elaboración propia con datos pozos DGA.

En general, en el sector del área de estudio, el nivel de la napa presenta oscilaciones constantes de hasta 21 metros, situándose el nivel de aguas alrededor de los 20 m y 35 m de profundidad. Estas oscilaciones muestran ciclos donde el nivel disminuyó o aumentó, las que se pueden relacionar con los periodos de bajas y altas precipitaciones que ha tenido el acuífero.

Es decir, que entre el año 95 y el año 98 hubo un déficit de precipitaciones que se puede correlacionar con la disminución de la napa subterránea. (CIREN, 2015).

### PARCELA 5 POLPAICO

El análisis de los niveles freáticos, nos indica que entre los años 1970 y 1994 los niveles de la napa son de baja profundidad, ya que cuentan con una profundidad de unos 10 m (gráfico 2).

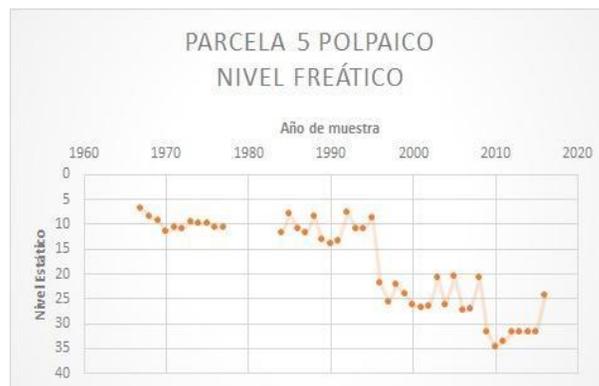


Gráfico 2. Profundidad de la Napa Parcela 5 polpaico. Fuente: Elaboración propia con datos de Dirección General de Aguas 2020.

### FUNDO SANTA ANA

El análisis de los niveles freáticos muestra que entre los años 1969 y 1990, el nivel de la napa en este sector fluctuó escasamente, con una profundidad cercana a 10 metros. A partir del año 1990 el nivel de la napa presenta una profundización a lo largo de los siguientes años, llegando a una profundidad máxima de alrededor de 55 m en el presente.



Gráfico 3. Profundidad de la Napa Fundo Santa Ana. Fuente: Elaboración propia con datos de Dirección General de Aguas 2020.

### CERA UNIÓN HUECHÚN

El nivel de la Napa según el gráfico 5, se encuentra a unos 30 y 70 metros de profundidad. Este presenta un descenso de 20 m desde el año 1993 hasta el año 1997, seguido de un ascenso en el año 1998, que alcanza su máximo en el año 2004.



Gráfico 4. Profundidad de la Napa Cera Unión Huechún. Fuente: Elaboración propia con datos de Dirección General de Aguas 2020.

Para poder dar forma al área donde está ubicado el acuífero, las zonas rocosas de baja permeabilidad fueron descartadas, además se excluyeron los tranques de relave, ya que estos, no se incorporan al acuífero, debido a la capa impermeable que se encuentra al fondo de estos. Al determinar la ubicación del acuífero se definieron los elementos que forman parte de este, es decir, la geomorfología del terreno que al ser analizada,

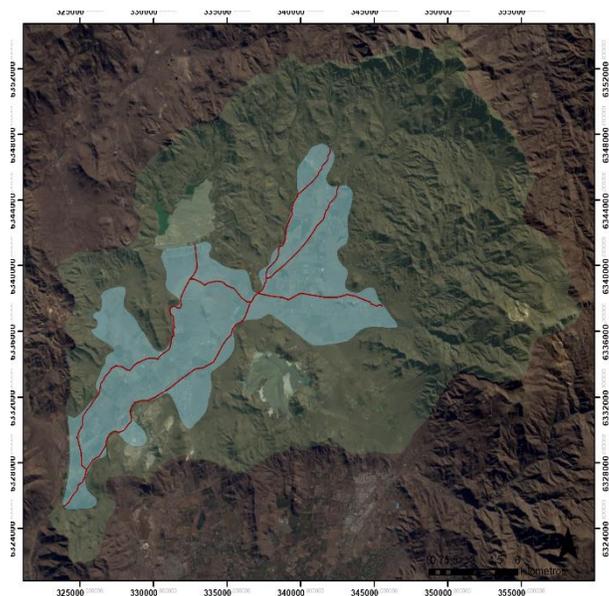


Fig.5 Mapa Acuífero Modelado Chacabuco-Polpaico. Elaboración propia.

permite determinar en ciertos puntos la parte inferior del acuífero donde podemos encontrar una capa volcánica de baja permeabilidad que delimita a este, además de esto, otorga información de permeabilidad y tipo de acuífero.

Otro elemento analizado para poder determinar la variación que ha sufrido nuestro acuífero es el nivel freático, el cual determinará a qué altura se encuentra nuestro acuífero.

Estos datos se obtienen del levantamiento de información en pozos, donde se analiza el pozo desde dos perspectivas; geológica e hidrológica.

La parte geológica nos entrega información necesaria para poder desarrollar nuestro “perfil geológico” donde se analizará características fundamentales del acuífero, como por ejemplo; si este es un acuífero libre (acuífero que se encuentra a una presión atmosférica similar o equivalente a la de la superficie) o confinado, en este caso se da cuando el acuífero tiene sobre él, una capa de baja permeabilidad o que retenga líquido tal como las capas arcillosas, o que contengan gran porcentaje de limo.

La parte hidrológica del registro del pozo corresponde a una curva exponencial que demuestra la cantidad de caudal que es extraído por segundo en relación al nivel donde es extraída el agua, es decir, que en el tiempo “0” podemos encontrar el “nivel estático”, este nivel será considerado para la elaboración de las isolíneas que tendrá por nombre curvas de nivel freático. Sin embargo, en el caso de que el acuífero sea confinado el tiempo “0” de este pozo, corresponderá al nivel freático más la diferencia de nivel en el agua generada por la presión.

También existe otra variable que puede influir en el descenso de los niveles freáticos, que es la extracción de agua en los acuíferos, es por eso que se analizaron 69 pozos de derechos de agua concedidos, que se encuentran en el área de estudio, con datos obtenidos de la Dirección de Aguas (DGA, 2020). Como se puede visualizar en la figura 6, existe una gran cantidad de otorgamiento a estos derechos en el sector medio, aumentando la extracción de aguas en esa zona.

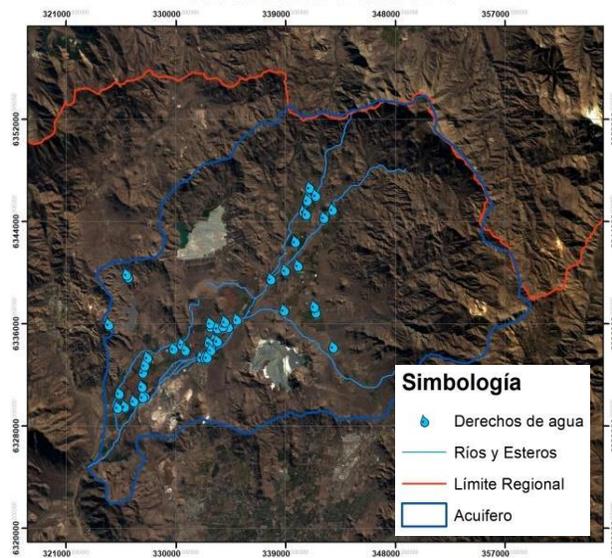


Fig.6 Mapa con límites del Acuífero Chacabuco-Polpaico. Fuente: Elaboración propia con base a los de la DGA 2020.

Para poder desarrollar un perfil geológico fue necesario analizar la base de datos de la Dirección

General de Aguas (DGA), donde seleccionaron los pozos que se pueden apreciar en la figura 7, estos pozos fueron seleccionados ya que se encuentran en el área de estudio, además de poseer un perfil válido para el desarrollo del corte geológico del terreno.

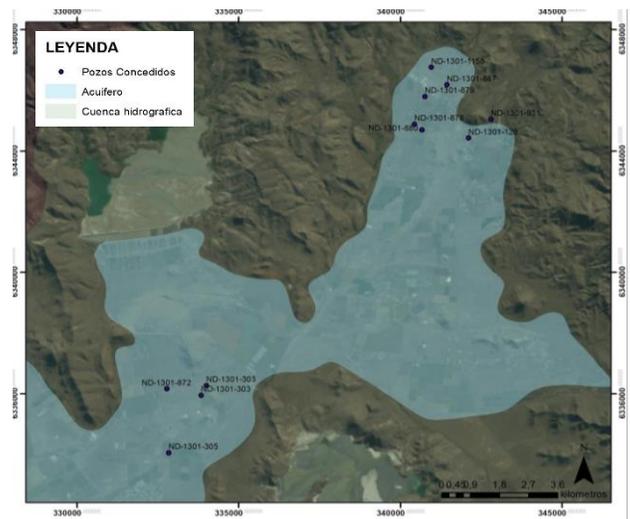


Fig.7 Mapa pozos derechos concedidos Chacabuco-Polpaico. Fuente: Elaboración propia con base a los datos DGA 2020.

Estos pozos además de encontrarse en el área de estudio, debían contar con algún tipo de registro de los niveles estáticos, registrados durante la extracción de agua y un “perfil del pozo”, este último entregaría las características de las formaciones rocosas.

Una vez analizada las características de estas, fue necesario agrupar las distintas capas bajo ciertos criterios, es decir, que se determinaron categorías que incluyen distintos tipos de capas.

Los niveles estáticos representativos del área de estudio fueron obtenidos del Banco Nacional de Aguas (DGA-BNA). Con esta información se calculó el promedio de los niveles estáticos registrados en pozos de monitoreo para las últimas décadas (1969-2020).

Posteriormente, se identificó el área cubierta por relleno sedimentario dentro de la zona de estudio,

donde se consideró está como el área de extensión del acuífero. Finalmente, se interpolan los datos de niveles estáticos usando el software ArcGIS.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### PIEZOMETRÍA

La piezometría del sistema acuífero se refiere a la medición de las fluctuaciones que se presentan en los niveles piezométricos de las aguas subterráneas, producidos por causas naturales como también artificiales.

A través de los pozos de monitoreo que se encuentran en el área de estudio, es posible determinar las superficies piezométricas, efectuando lecturas periódicas de los niveles estáticos.

Para las piezometrías, fue necesario obtener la información de la profundidad de los niveles estáticos de diferentes pozos. Esta información fue recopilada a través de antecedentes, con la cual se construyó la piezometría del acuífero, correspondientes a los años 1969, 1989 y 2019 (figuras 8, 9 y 10).

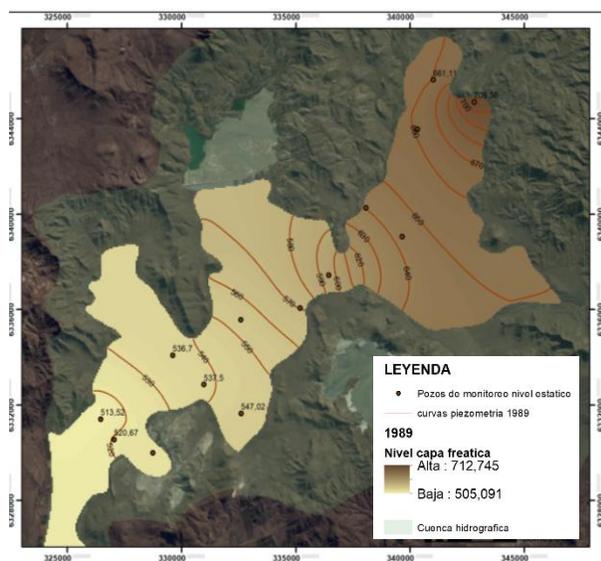


Fig.8 Mapa Piezometría 1969 Chacabuco-Polpaico. Fuente: Elaboración propia con base datos de la DGA 2020.

Las curvas obtenidas por interpolaciones de los niveles estáticos, representan la forma de la superficie piezométrica de un acuífero confinado o semiconfinado y también la forma de la superficie freática en el caso de acuíferos libres.

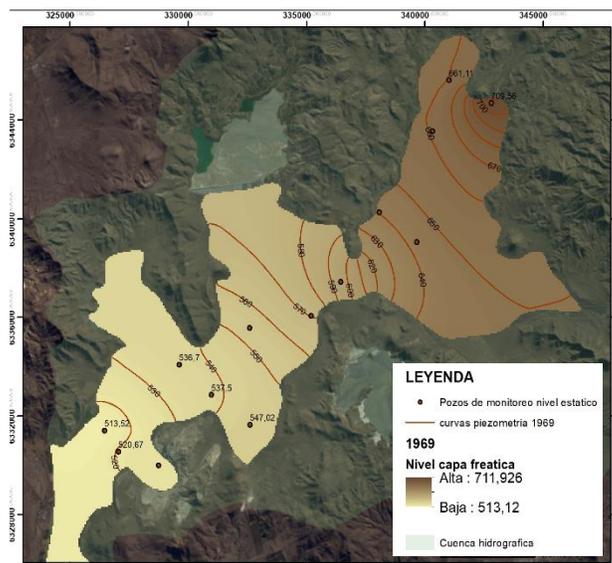


Fig.9 Mapa Piezometría 1989 Chacabuco-Polpaico. Fuente: Elaboración propia con base datos de la DGA 2020.

Al predecir valores utilizando métodos de interpolación se obtiene una nueva nube de puntos con valores similares a los datos de muestra, pero a medida que la distancia aumenta con respecto a estos puntos sufre de pérdida de precisión, es decir que, a mayor distancia se generará distorsión de la información (Aguilar y Vargas, 2013).

Existen distintos tipos de métodos de interpolación, que buscan predecir información a partir de una muestra, sin embargo, para este caso fue necesario utilizar el método de "spline con barreras" para una representación más acertada de lo que podrían ser las curvas de nivel freático.

Esta herramienta es similar a la de "Spline" que estima valores utilizando una función matemática que minimiza la curvatura general de la superficie,

Tabla 2. Niveles Freáticos 1969 hasta 2019. Fuente: Elaboración propia con datos de Dirección General de Aguas 2020.

N°	NOMBRE	NIVEL FREÁTICO			
		1969	1989	2009	2019
1	CERA UNION HUECHUN	SIN INF.	SIN INF.	562,8	535,9
2	CHILECTRA POLPAICO	536,7	527,7	SECO	SECO
3	RESERVA FUNDO POLPAICO	520,67	511,2	498,3	475,23
4	PARCELA 5 POLPAICO	513,52	506,2	491,2	SECO
5	FUNDO SANTA ANA	537,5	531,8	524,3	SECO
6	HUERTOS FAM. CERRO BLANCO	547,02	526,45	521,8	507,4
7	FABRICA POLPAICO	SIN INF.	523,05	515,3	509,8
8	ASENTAMIENTO LOS MAITENES	SIN INF.	SIN INF.	523,4	SECO
9	FUNDO MONTECARLO (EX VENCEREMOS)	SIN INF.	SIN INF.	532,4	518,29
10	FUNDO LOS TALAVERAS	661,11	671,9	666,3	662,11
11	HACIENDA CHACABUCO	709,56	709,5	712,7	702,62
12	FUNDO LOS TAHURETES	SIN INF.	646,85	639,2	631,03
13	LOS GUAYACANES	SIN INF.	602,65	594,15	599,54
14	ASENTAMIENTO CHACABUCO	SIN INF.	591,5	569,7	563,5

que avanza el tiempo, los niveles pueden llegar a varios metros, dependiendo de la recarga, de las condiciones de sobreexplotación que está teniendo el acuífero y de episodios climatológicos.

## EVOLUCIÓN DE LOS NIVELES PIEZOMÉTRICOS TEMPORALES

Los datos obtenidos de la base de datos de la Dirección General de Aguas (DGA, 2020), fueron procesados de tal manera que se pudo extraer la información de los niveles de las estaciones de monitoreo dentro del área de estudio. Estos datos fueron divididos en 4 períodos para poder llevar a cabo un análisis temporal del acuífero como se muestra en la tabla 2.

Se puede apreciar cómo se genera una tendencia a la baja de los niveles freáticos en las estaciones de monitoreo. En el caso del acuífero cuando está confinado por la capa de arcillas, inicialmente los niveles estaban por sobre la capa confinante del acuífero, pero con el transcurso del tiempo estos descendieron y quedaron por debajo de la capa confinante.

Además, al menos 4 pozos no tienen información en los últimos años, debido a que el nivel freático está por debajo del pozo, es decir, que si la profundidad del pozo corresponde a 80 metros, el nivel se encuentra a más de 80 metros desde la cota superior del pozo hasta abajo de este. Estos pozos se encuentran en el curso medio del Valle y son los que cuentan con una mayor variación del nivel freático en los últimos 30 años, por lo tanto, se puede deducir que la variación generada en este tramo del acuífero, se debe a algo adicional al descenso de las precipitaciones, es decir que el posible causante de la variación de los niveles sea la sobreexplotación del recurso hídrico en este sector.

## RELACIÓN RÍO-ACUÍFERO

En la actualidad los ríos dentro de la cuenca hidrográfica según el análisis realizado en el sector se encuentran secos.

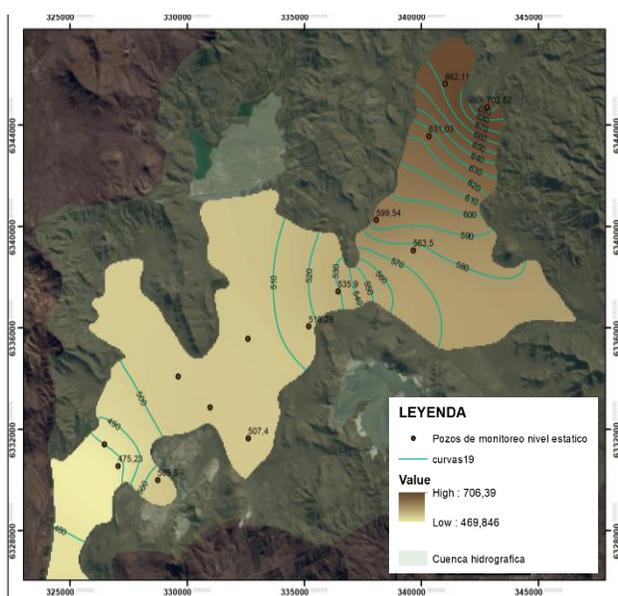


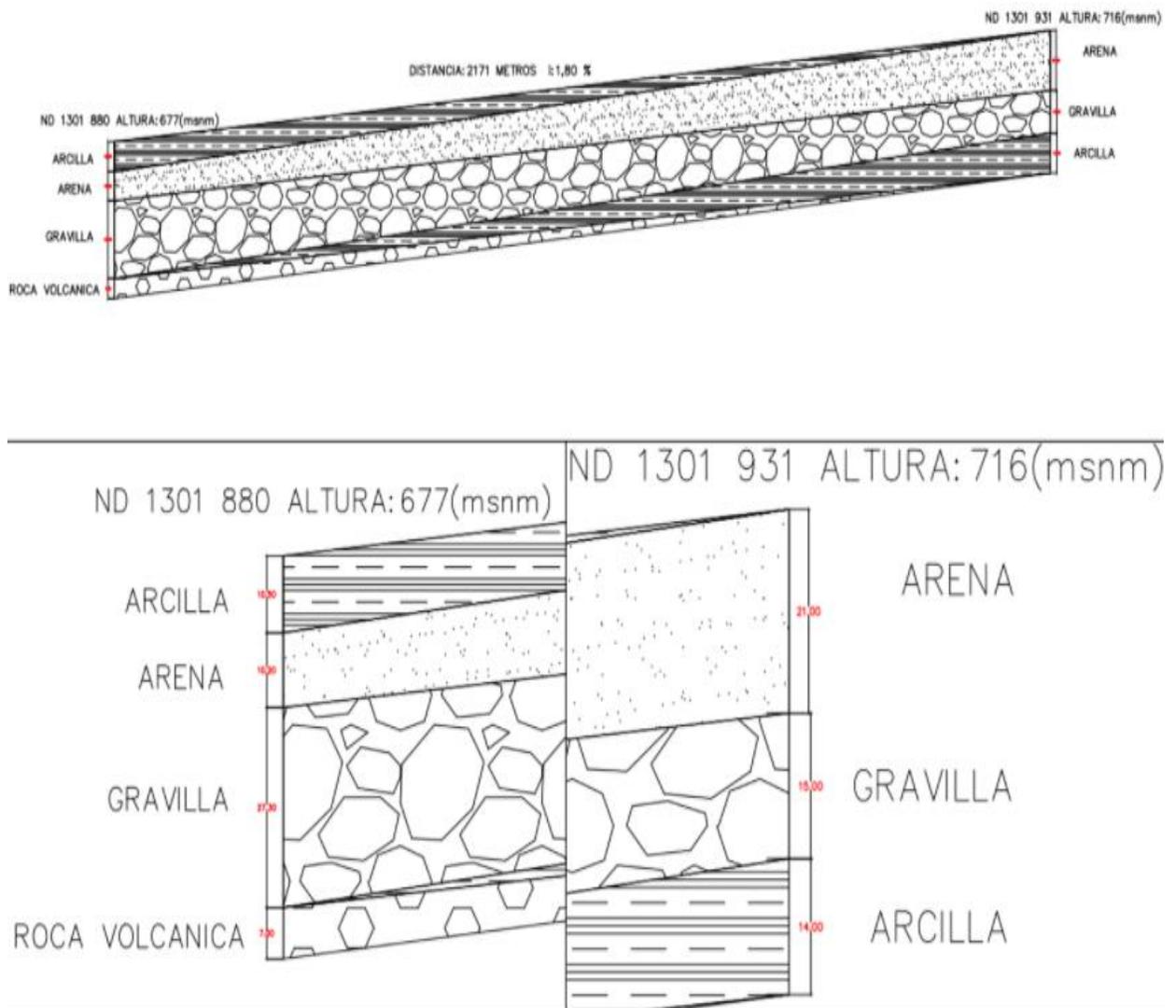
Fig.10 Mapa Piezometría 2019 Chacabuco-Polpaico. Fuente: Elaboración propia con base a los de la DGA 2020.

pero la principal diferencia con esta herramienta es que puede distinguir las discontinuidades codificadas en barreras y en los datos ingresados. Para este caso la barrera ingresada fue el acuífero y los datos de entrada o la muestra fue el nivel piezométrico de cada pozo.

Hay que tener en cuenta que los mapas de piezometría representan el estado de las cargas hidráulicas en un determinado tiempo. A medida



Fig.12 Perfil de pozo. Fuente: Elaboración propia



profundo sería el que actualmente provee el agua a los pozos.

Se determinó que el acuífero es confinado debido a la capa impermeable que se encuentra entre los 30 y 50 metros de profundidad. Si analizamos los niveles freáticos de esta zona en concreto podemos observar que el acuífero se encuentra a profundidades mayores a los 30 metros, esto quiere

decir que el acuífero se encuentra por debajo de esta capa de arcilla impermeable.

La zona norte del acuífero según los perfiles geológicos tiene una menor profundidad para poder ser explotada, esto debido a que gran parte de los pozos de este sector posee una capa inferior impermeable a una distancia promedio de 65 metros, como se puede apreciar en la figura 12.

## RELACIÓN ENTRE NIVELES ESTÁTICOS Y PRECIPITACIONES ANUALES

Se realizó un análisis de relación, entre los niveles freáticos de los pozos y las precipitaciones anuales. A partir de las figuras 8, 9, 10 y los gráficos 5, 6, 7, se presentan los gráficos de ambas relaciones. El rango de datos, están entre los años 1990 y 2020, tanto para precipitaciones como para niveles (gráficos 5, 6 y 7).

Gráfico 5. Nivel freático. Fuente: Elaboración propia con datos de Dirección General de Aguas 2020.

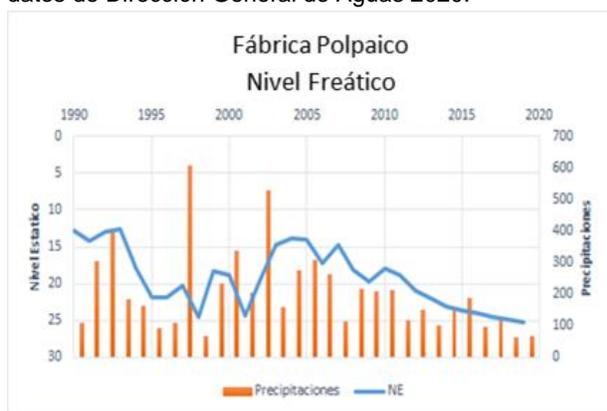


Gráfico.6 Nivel freático. Fuente: Elaboración propia con datos de Dirección General de Aguas 2020.

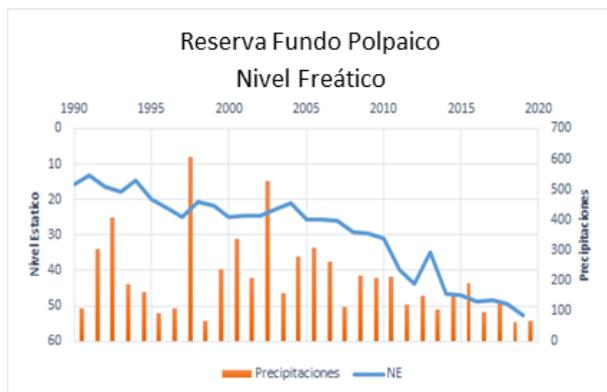


Gráfico.7 Nivel freático. Fuente: Elaboración propia con datos de Dirección General de Aguas 2020.

Gráfico.7 Nivel freático. Fuente: Elaboración propia con datos de Dirección General de Aguas 2020.



Los gráficos muestran que en general durante la década de los 90, los niveles permanecieron prácticamente constantes.

A partir del año 2000 se observa un descenso significativo en los pozos de Fábrica Polpaico (gráfico 7), y como puede verse, esta tendencia es generalizada y coincidente con una disminución en las precipitaciones de los últimos 20 años. Así es posible explicar en parte, que los descensos de los niveles piezométricos ocurren debido a una sequía de carácter decadal.

## DERECHOS DE AGUA

Como se puede apreciar en la figura 13, existen pozos de derechos de agua, de alto consumo hídrico, como también de bajo consumo. Esto se estableció con la cantidad máxima de agua que puede extraer el pozo, es decir para los pozos de “bajo consumo” se consideró un caudal máximo de extracción de 10 litros por segundo o inferior.

Para los pozos de alto consumo se consideró que debería ser superior a 10 litros por segundo donde podemos encontrar pozos que pueden extraer hasta 109 litros por segundo.

La mayor concentración de pozos de alto consumo, se concentran en el curso medio del acuífero, esto quiere decir, que hay una mayor extracción de

agua, donde existiría una sobreexplotación del acuífero.

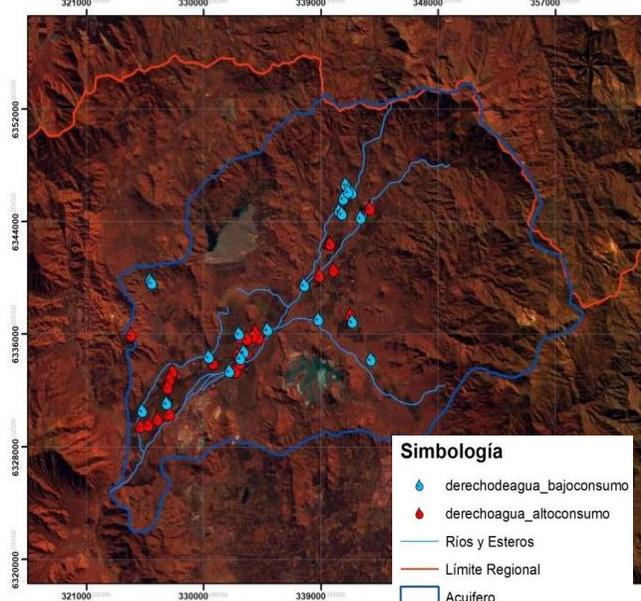


Fig.13 Mapa Consumo Derechos de agua. Fuente: Elaboración propia con base a los de la DGA 2020.

## CONCLUSIONES

El acuífero de Chacabuco-Polpaico se encuentra actualmente con los niveles más bajos registrados en los últimos 60 años, esto según el análisis realizado del registro histórico de niveles piezométricos. Su origen se debe en parte a la mega sequía que está afectando la zona centro norte del país. A medida que avanzan los años, se ha visto como las precipitaciones han ido en disminución.

Para poder entender mejor la magnitud de los descensos se realizó un análisis del acuífero donde se logró representar la altura que se encuentra el acuífero en la actualidad y cómo este ha evolucionado en las últimas décadas.

Datos concretos indican que la parte más afectada del acuífero fue el curso medio, donde los descensos superan los 50 metros en algunos puntos. Esta situación también tendría una

componente antrópica, ligada a los cambios generados en los últimos 30 años con una entrega de derechos de agua sin suficientes estudios del balance hídrico del acuífero. La Sobreexplotación que se ve reflejada en la Figura 13, donde se aprecia la mayor extracción de aguas.

Esto significa que la cantidad de agua proveniente de las precipitaciones no es suficiente para recargar los volúmenes que le son extraídos por conceptos de derechos de aprovechamiento de agua, principalmente para fines de riego. Los datos de las mediciones de los niveles estáticos recopilados de la DGA, nos indican una mayor disminución del nivel freático.

Desde 1969 se muestra una leve disminución de los niveles freáticos, pero es en el año 2000 donde se produce una fuerte tendencia a la disminución, provocando un gran descenso que continúa hasta en la actualidad.

En el curso norte del acuífero, se puede observar que el acuífero no tuvo un descenso tan drástico como lo fue el caso de más al sur. Sin embargo, esto no es menos grave, ya que, al analizar los perfiles geológicos de esta zona, se puede ver que en promedio la capa impermeable inferior donde están los sedimentos volcánicos, se encuentra a unos 65 metros.

Si analizamos los niveles freáticos de esta, podemos ver que el nivel se encuentra aproximadamente a unos 40 metros de profundidad. Esto quiere decir, que tan solo quedarían 15 metros de espesor saturado del acuífero, esto sin contar con posibles capas de arcilla o limo de baja permeabilidad que podrían encontrarse fácilmente en la zona.

Con respecto a los objetivos de la investigación que se desarrolló, podemos apreciar que si existe una evidente sobreexplotación en parte del acuífero, pero gracias a la información y el análisis realizado se pudo determinar que, en parte los descensos freáticos se deben a la variación en las

precipitaciones de las últimas décadas, lo que ha provocado un gran impacto en los cursos de agua superficiales, provocando que estos se sequen.

Gracias al método de investigación que se desarrolló se logró visualizar el acuífero en distintos aspectos junto a sus variaciones a lo largo del tiempo, sin embargo, la información sigue siendo muy limitada, dado que para poder representar de forma precisa al acuífero es necesario abarcar más variables que deben ser obtenidas en terreno con herramientas y procesos específicos.

Para poder obtener un mejor manejo del agua en el sector sería necesario impulsar un nuevo proceso de fiscalización y regulación del acuífero para poder estimar un consumo responsable del agua por parte de los ocupantes del sector. Para conseguir esto será necesario realizar investigaciones más a fondo con la finalidad de poder abarcar en mayor detalle la cuenca hidrográfica y el acuífero que se encuentra presente en esta.

## REFERENCIAS

AGUILAR Y VARGAS, C. 2013. Taller Básico en manejo de Sistemas de Información Geográfica aplicada a la Gestión Centro Nacional de Alta Tecnología ( CeNAT ) Sensores Remotos (PRIAS).

ALICE FRANEK 2015. Agua para un mundo sostenible. Retrieved from <http://ggmn.e-id.nl/ggmn/GlobalOverview.html>

BCN (2020). BIBLIOTECA DEL CONGRESO NACIONAL DE CHILE, Clima y Vegetación Región Metropolitana de Santiago —. Retrieved December 12, 2020, from Clima y Vegetación Región Metropolitana de Santiago website: <https://www.bcn.cl/siit/nuestropais/region13/clima.htm>

CODELCO. 2018, July 10). CODELCO - Corporación Nacional del Cobre , Chile. Retrieved December 12, 2020, from [https://www.codelco.com/division-andina-inyecta-agua-a-la-cuenca-chacabuco-polpaico/prontus\\_codelco/2018-07-10/121843.html](https://www.codelco.com/division-andina-inyecta-agua-a-la-cuenca-chacabuco-polpaico/prontus_codelco/2018-07-10/121843.html)

COMISIÓN NACIONAL DE RIEGO. 2015. Estudio Básico "Análisis De Alternativas Piloto De Recarga Artificial Chacabuco-Polpaico.

DGA. 2020. Información Oficial Hidrometeorológica y de Calidad de Aguas en Línea. Retrieved December 12, 2020, from [https://snia.mop.gob.cl/BNAConsultas/reportes?fbclid=IwAR2Rf0Ab\\_5m8abaFk1azrXgExllxZMlfjApjhyuu9pkyK0ZlwqwlIVgdNLE](https://snia.mop.gob.cl/BNAConsultas/reportes?fbclid=IwAR2Rf0Ab_5m8abaFk1azrXgExllxZMlfjApjhyuu9pkyK0ZlwqwlIVgdNLE)

DMC. 2020. Dirección Meteorológica de Chile. Retrieved December 12, 2020, from <http://www.meteochile.gob.cl/PortalDMC-web/index.xhtml>

FAO. 2010. Agua | FAO | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Retrieved December 12, 2020, from <http://www.fao.org/water/es/>

GOBERNACIÓN CHACABUCO. (2020). Ubicación geográfica - Gobernación Provincial de Chacabuco. Retrieved December 12, 2020, from <http://www.gobernacionchacabuco.gov.cl/geografia/>

IDE. 2020. Infraestructura de Datos Geoespaciales. Retrieved December 12, 2020, from <http://www.ide.cl/>

MUNICIPALIDAD COLINA. 2019,. DGA se reúne con todos los actores para enfrentar la escasez hídrica en el Valle de Chacabuco – Municipalidad De Colina. Retrieved December 12, 2020, from <https://www.colina.cl/2019/05/17/dga-se-reune-con-todos-los-actores-para-enfrentar-la-escasez-hidrica-en-el-valle-de-chacabuco/>

René Garreaud y N. T. 2015. La megasequía 2010-2015. Retrieved from [www.cr2.cl/megasequia](http://www.cr2.cl/megasequia)

SONAMI. 2020. SONAMI :: Sociedad Nacional de Minería - Chile. Retrieved January 8, 2021, from <https://www.sonami.cl/v2/>

USGS. 2020. USGS.gov | Science for a changing world. Retrieved December 12, 2020, from <https://www.usgs.gov/>