

CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA SECTOR COMUNIDAD SOLOR

INFORME



Comunidad Atacameña de Solor

**COMUNA DE SAN PEDRO DE ATACAMA,
REGIÓN DE ANTOFAGASTA**

ABRIL 2025

ÍNDICE DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	3
1.1	Objetivo	3
1.2	Alcances.....	3
1.3	Ubicación.....	3
2	ANTECEDENTES	5
2.1	Hidrología	5
2.1.1	Clima.....	7
2.2	Geología	7
2.2.1	Geología sub-superficie.....	11
2.3	Geomorfología	14
2.4	Hidrogeología	15
3	CARACTERIZACION HIDROGEOLOGICA SECTOR SOLOR.....	19
3.1	Derechos de agua.....	19
3.2	Campaña de terreno	22
3.3	Medición de parámetros fisicoquímicos in situ	24
3.4	Hidroquímica e isotopía	27
3.4.1	Caracterización elemental.....	29
3.4.2	Diagramas de clasificación	31
3.4.3	Isótopos.....	33
3.4.4	Norma de calidad de aguas	34
3.5	Niveles y Piezometría	36
3.6	Propuesta de localización de un nuevo pozo.....	40
4	CONCLUSIONES	41
5	REFERENCIAS.....	43
6	ANEXOS	44
6.1	Estratigrafía San Pedro N°2	44
6.2	Estratigrafía San Pedro N°5	44
6.3	Composiciones químicas históricas pozos SP-3 y SP-5.....	46

ÍNDICE DE FIGURAS

índices

Figura 1-1: Mapa de ubicación de la zona de estudio.....	4
Figura 2-1: Ubicación Cuenca del Salar de Atacama (bordeado en rojo).	5
Figura 2-2: Ubicación de las subcuenca en la cuenca Salar de Atacama.....	6
Figura 2-3: Mapa geológico del área de estudio	9
Figura 2-4: Perfil esquemático BB'B"	10
Figura 2-5: Ubicación de sondajes	11
Figura 2-6: Perfil esquematizado del Sector Norte y Sector Oriental-Sur del Salar de Atacama.....	13
Figura 2-7: Mapa con morfoestructuras presentes en la cuenca del Salar de Atacama	15
Figura 2-8: Zonificación general del Salar de Atacama	15
Figura 2-9: Resumen Unidades Hidrogeológicas.....	17
Figura 2-10: Mapa hidrogeológico de la cuenca Salar de Atacama	18
Figura 3-1: Ubicación de pozos con Derechos de agua de la comuna San Pedro de Atacama. Se indican sus caudales otorgados.	21
Figura 3-2 Ubicación pozos revisados en la campaña.....	22
Figura 3-3: Mapa de Conductividad Eléctrica.	25
Figura 3-4: Elementos mayores de las muestras Río San Pedro, Pozo San Pedro 2 y Pozo 5.....	30
Figura 3-5: Elementos menores y trazas de las muestras Río San Pedro, Pozo San Pedro 2 y Pozo 5.	30
Figura 3-6: Diagrama Schoeller con muestras cercanas a Solor.	31
Figura 3-7: Diagrama de Stiff con muestras cercanas a Solor.....	32
Figura 3-8: Niveles y piezometría.....	39
Figura 3-9: Propuesta Ubicación Nuevo Pozo	41

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Litología y granulometría de las unidades identificadas.....	12
Tabla 3-1 Derechos de Agua sector San Pedro	20
Tabla 3-2: Mediciones de pozos y punteras durante campaña febrero 2025	23
Tabla 3-3: Mediciones de parámetros fisicoquímicos en terreno de aguas superficiales y subterráneas.	26
Tabla 3-4: Resumen de calidad química en las muestras.	28
Tabla 3-5: Comparación con la normativa de calidad de agua potable.....	35
Tabla 3-6: Comparación con la normativa de calidad de agua de riego	36
Tabla 3-7: Niveles piezométricos del área de estudio	38
Tabla 6-1: Descripción estratigráfica Sondaje San Pedro N°2.....	44
Tabla 6-2: Descripción estratigráfica Sondaje San Pedro N°5.....	44

1 INTRODUCCIÓN

La Comunidad Atacameña de Solor evaluar la factibilidad de perforar un pozo para consumo de la comunidad en terrenos de Solor.

Para realizar lo antes mencionado, se solicitó a ICA Geoconsultores realizar un estudio hidrogeológico para evaluar la construcción de un nuevo pozo en otro sector de Solor.

1.1 Objetivo

El objetivo principal de este estudio es entender el funcionamiento hidrogeológico del sector de interés con el fin de asegurar un suministro de agua para el Ayllu.

Para conseguir estos objetivos principales, se proponen los siguientes objetivos específicos, Evaluar el potencial hidrogeológico, capacidad de bombeo y calidad del Pozo Nro. 5 y del sector del nuevo pozo.

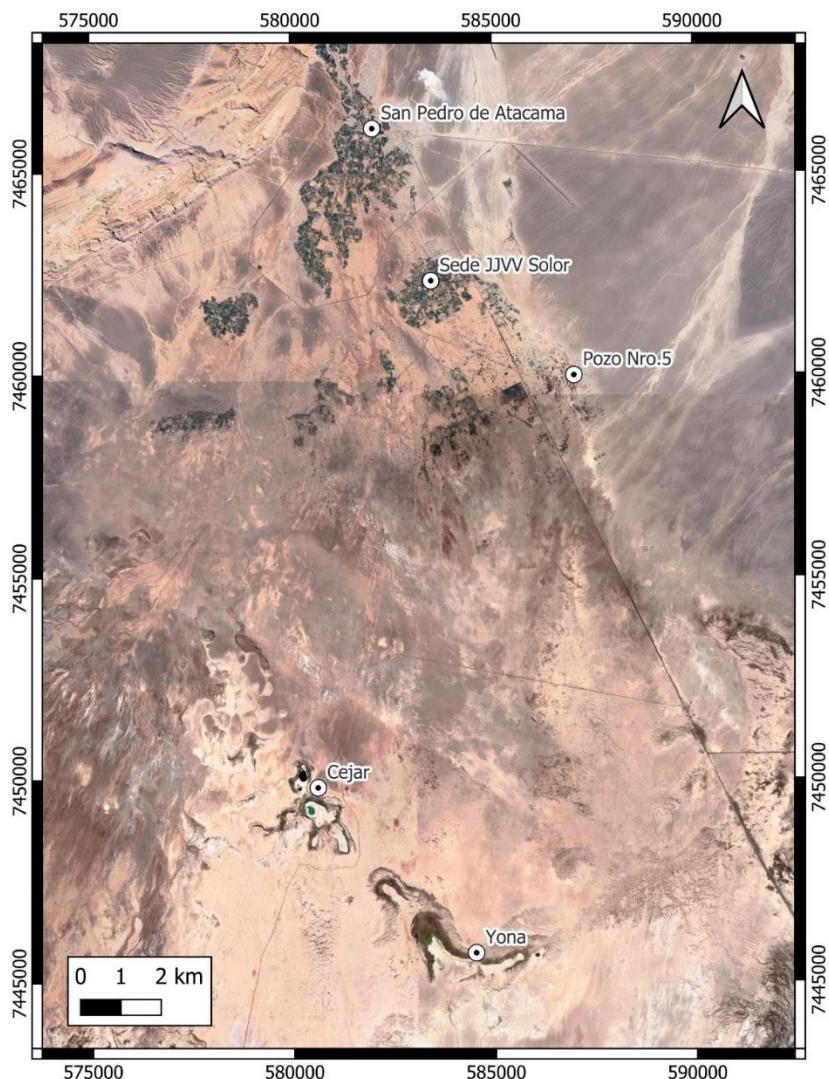
1.2 Alcances

Se realizó un análisis detallado de la información hidrogeológica del sector existente provista por la comunidad y/o disponible en las instituciones públicas. Se realizó una campaña de terreno en la cual se evalúo la información disponible y se realizó el levantamiento de geoquímicos, del Pozo Nro. 5 y de la batimetría de las lagunas.

1.3 Ubicación

Las áreas de estudio se localizan en Solor, al sur de San Pedro de Atacama, Provincia del Loa, II Región de Antofagasta. El Ayllu de Solor se encuentra ubicado a 8 Km al Sur de la Capital de la Comuna San Pedro de Atacama y distante a 315 Km de la ciudad de Antofagasta, con una altitud de 2.440 metros sobre el nivel del mar (Figura 1-1).

Figura 1-1: Mapa de ubicación de la zona de estudio.



Fuente: Elaboración propia

2 ANTECEDENTES

2.1 Hidrología

El área de estudio se encuentra en la cuenca Salar de Atacama, la cual se ubica en el extremo este de la Región de Antofagasta, Chile. El límite nor-noreste de la cuenca lo constituye la frontera entre Chile y Bolivia, mientras que el límite sur-sureste la frontera Chile con Argentina. Entre ambos extremos, la cuenca limita por el este con una serie de cuencas endorreicas con salares de menores dimensiones. En el sector opuesto, la cuenca limita por el suroeste con las cuencas endorreicas de los salares de Punta Negra e Imilac, mientras que en el margen noroeste limita con las cuencas del río Loa y la quebrada de Caracoles. Entre ambos márgenes, la cuenca limita por el oeste con los salares de Los Morros y Elvira.

La cuenca del Salar de Atacama corresponde a una cuenca endorreica, con una extensión de 17.007 km² y una morfología elipsoidal, cuyo eje mayor de orientación N-S tiene una longitud cercana a 250 km. La altitud mínima de la cuenca es de 2.300 metros sobre el nivel del mar (m s.n.m.), mientras que la máxima es superior a 6.200 m s.n.m. Las coordenadas aproximadas de la cuenca, en DATUM WGS84, son en el límite Norte 7.530.000; Sur 7.275.000; Este 525.000 y Oeste 650.000. Su posición se ilustra en la Figura 2-1.

Figura 2-1: Ubicación Cuenca del Salar de Atacama (bordeado en rojo).

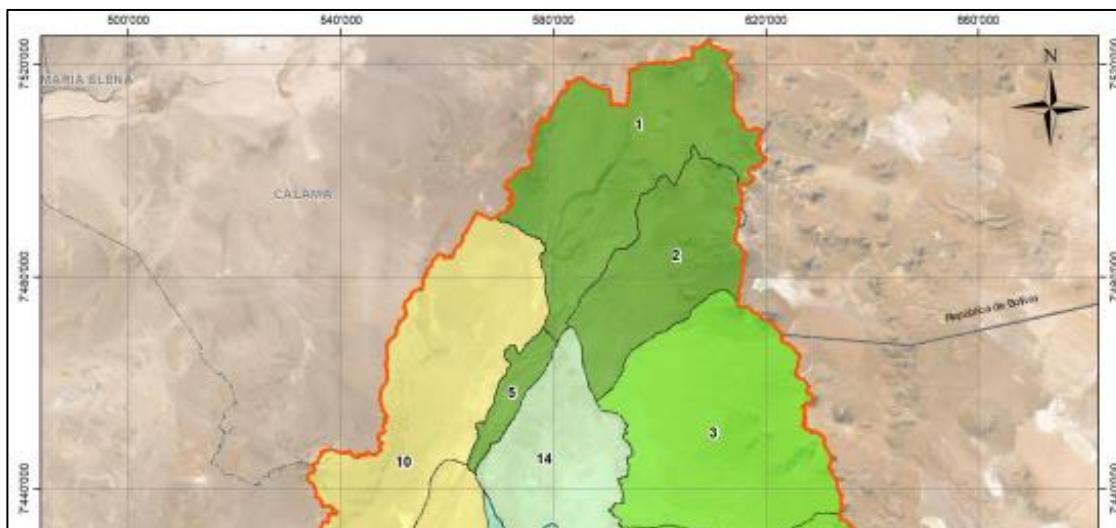


Fuente: Amphos21, 2021

La cuenca presenta numerosas quebradas con un régimen de caudal esporádico. Este régimen se debe principalmente debido a que en la parte baja de la cuenca no ocurren precipitaciones de manera regular y, por tanto, las quebradas y cauces sólo presentan un flujo apreciable luego de que ocurren precipitaciones importantes.

En la cuenca del Salar de Atacama existen 17 subcuenca que se agruparon de acuerdo con el margen del Salar en donde se realiza su descarga. La parte baja de la cuenca está representada por el área aportante Núcleo (subcuenca 17) y las áreas aportantes de la zona Marginal (subcuenca 14 y 15). El resto de las áreas aportantes se agruparon según la dirección donde descargan a la parte baja de la cuenca: 1) Norte, 2) Noreste, 3) Este, 4) Sureste, 5) Sur y 6) Oeste (Figura 2-2).

Figura 2-2: Ubicación de las subcuenca en la cuenca Salar de Atacama



Fuente: Amphos21, 2021

Los principales afluentes al Salar de Atacama son los ríos San Pedro y Vilama, que escurren con dirección sureste por el área aportante Norte. Estos ríos presentan un escurrimiento permanente y se caracterizan por tener un área aportante mayor, si se le compara con el resto de las quebradas que drenan al Salar. Los principales tributarios del río San Pedro son el río Grande y el río Salado, mientras que el principal tributario del Vilama es el río Puritama. Ambos ríos descargan en el Salar en las cercanías de la localidad de San Pedro de Atacama.

Numerosas quebradas alimentan el Salar por el área aportante este, las cuales tienen una marcada orientación de este a oeste, son prácticamente paralelas entre sí y presentan áreas aportantes comparativamente menores que la de los ríos San Pedro y Vilama. Algunas de las quebradas presentan escurrimiento permanente, esto explica porque funcionan como vertientes que descargan agua subterránea. En el área aportante oeste de la cuenca destacan la quebrada de Agua colorada y la quebrada del Agua Salada.

La zona Marginal presenta numerosos sistemas lacustres, entre los que destacan en el sector norte las lagunas Baltinache, de Cejar y Tebinquiche.

2.1.1 Clima

El clima de la cuenca es de tipo desértico marginal de altura, con precipitaciones que ocurren principalmente durante los meses de diciembre a marzo e influenciadas fuertemente por el régimen cíclico asociado al fenómeno del niño-niña (ENSO). La distribución espacial de las precipitaciones dentro de la cuenca es heterogénea, ya que se incrementan a mayor altitud y según la dirección noreste. En la zona Núcleo Salar, la precipitación media es menor a 25 mm/año, mientras que, en las subcuenas aportantes se sobrepasan los 100 mm/año. Un porcentaje de la lluvia que cae en las áreas montañosas escurre superficialmente y el resto de la lluvia se infiltra y discurre sub-superficialmente hacia las zonas más deprimidas.

2.2 Geología

Geológicamente, el origen de la cuenca del Salar de Atacama es tectónico, en un ambiente compresivo, y está delimitada por la Cordillera de Domeyko por el oeste y la Cordillera de los Andes al este. La cuenca está formada por un conjunto de rocas intrusivas, volcánicas y sedimentarias del Paleozoico inferior hasta la actualidad, que constituyen el basamento hidrogeológico y un relleno sedimentario compuesto por sedimentos clásticos y evaporíticos en la zona Núcleo Salar, que se han acumulado desde el Mioceno Superior hasta la actualidad. La zona Núcleo Salar se encuentra cortado por el Sistema de Falla Salar (SFS), que corresponde a una estructura de carácter inverso y orientación NNO-SSE, con buzamiento al oeste, que ha generado un alzamiento de más de 400 m del bloque occidental desde el Paleógeno y se encuentra activo en el presente.

Las unidades que se encuentran en el área de estudio son las siguientes:

- **Depósitos aluviales y fluviales recientes [Holoceno] (Ha)**

Esta unidad está integrada por depósitos de gravas, arena fina y limo, que forman abanicos, con pendiente cercana y menor a los 15°.

- **Depósitos salinos de humedal [Pleistoceno – Holoceno] (PIHsh)**

Se compone por evaporitas y facies de arcillolitas y limolitas, con abundantes vegas y materia orgánica, en general en una superficie húmeda y pantanosa, de color gris claro a verde.

- **Depósitos salinos del Salar de Atacama [Pleistoceno – Holoceno] (PIHs)**

El Salar de Atacama corresponde a una depresión elongada NS, ubicada a 2.300 m s.n.m. Esta depresión está localizada entre los altos topográficos de la Cordillera de la Sal y de la Precordillera, y está rellena por los depósitos salinos que se interdigitan en los depósitos sedimentarios provenientes desde las vertientes que rodean a esta cuenca.

(f1) Costra de depósitos aluviales y evaporíticos del río San Pedro y del Llano de la Paciencia, de textura rugosa y escarpada, con superficies planas, esencialmente de cloruros, con facies de arenas finas y limos.

(d2) Costra de depósitos aluviales y salinas rugosas, compuestas por sulfatos, carbonatos y cloruros, con limos y arcillas, y localmente con vegetación. Suelen estar cubiertas por superficies planas de sulfatos y cloruros, de color blanco a gris y blandas.

(d3) Costra de sulfatos, cloruros, carbonatos con materia orgánica en superficies planas, y localmente rugosas y húmedas.

(c1) Costra de sulfatos en superficies planas, esencialmente de yeso, anhidrita y facies de limos y arcillas.

(a3) Costra de cloruros en superficies planas y formando glóbulos, compuestas por cristales de halita con textura botroidal bien desarrollado y de color blanco.

(a4) Costra de cloruros con abundantes detritos, en costras muy rugosas y escarpadas, esencialmente de halita con limos y arcillas.

- **Depósitos eólicos [Pleistoceno – Holoceno] (PIHe)**

Corresponde a los depósitos que conforman a pequeñas dunas, de amplitud variable (1 a 2 m), y frecuentemente, asociadas con vegetación. Las dunas la componen arenas gruesas, medias y finas, grises, bien seleccionadas y subredondeadas, cuyos clastos en general son de origen volcánico. En la superficie de las dunas se observó una costra endurecida de evaporitas, en general de yeso con detritos de limos.

- **Depósitos aluviales [Pleistoceno – Holoceno] (PIHa)**

Corresponden a depósitos de gravas, arenas y limos provenientes de las unidades litológicas cercanas, que se observaron en el Llano de la Paciencia, en el límite oriental del área Salar de Atacama, y en los flancos de la Cordillera de la Sal. En los flancos de la Cordillera de la Sal, los depósitos están constituidos por facies de limos y arenas finas con una importante componente salina.

- **Formación Vilama [Mioceno Superior – Pleistoceno] (MsPv)**

Es una secuencia sedimentaria bien estratificada en capas centimétricas a métricas. En su base, expuesta directamente al oeste del pueblo San Pedro de Atacama, en la cordillera de la Sal, consta de calizas y areniscas calcáreas con intercalaciones de areniscas de grano medio y color gris; lutitas, limolitas y areniscas de color pardo claro a pardo rojizo claro, bien laminadas, con clastos de cuarzo, rocas volcánicas y algunos cristales de biotitas que, en partes, poseen cemento calcáreo, y en otras, cemento carbonático. De manera subordinada se observan intercalaciones de caliza silicificada, de color blanca, y niveles de diatomitas y de ceniza volcánica, así como conglomerados y gravas poco consolidadas de color gris pardusco claro, con clastos subredondeados de andesita, riolita y pómez.

- **Ignimbrita Sifón (ca. 9-7,2 Ma) [Mss]**

Depósitos de flujos ignimbíticos. Consta de tobas dacíticas a riolíticas, de color gris pardo y pardo claro, bien soldadas con fenocristales de plagioclasa, cuarzo, hornblenda y biotita. Presenta grandes fragmentos de pómex dacíticas aplastadas además de esquirlas de vidrio soldadas.

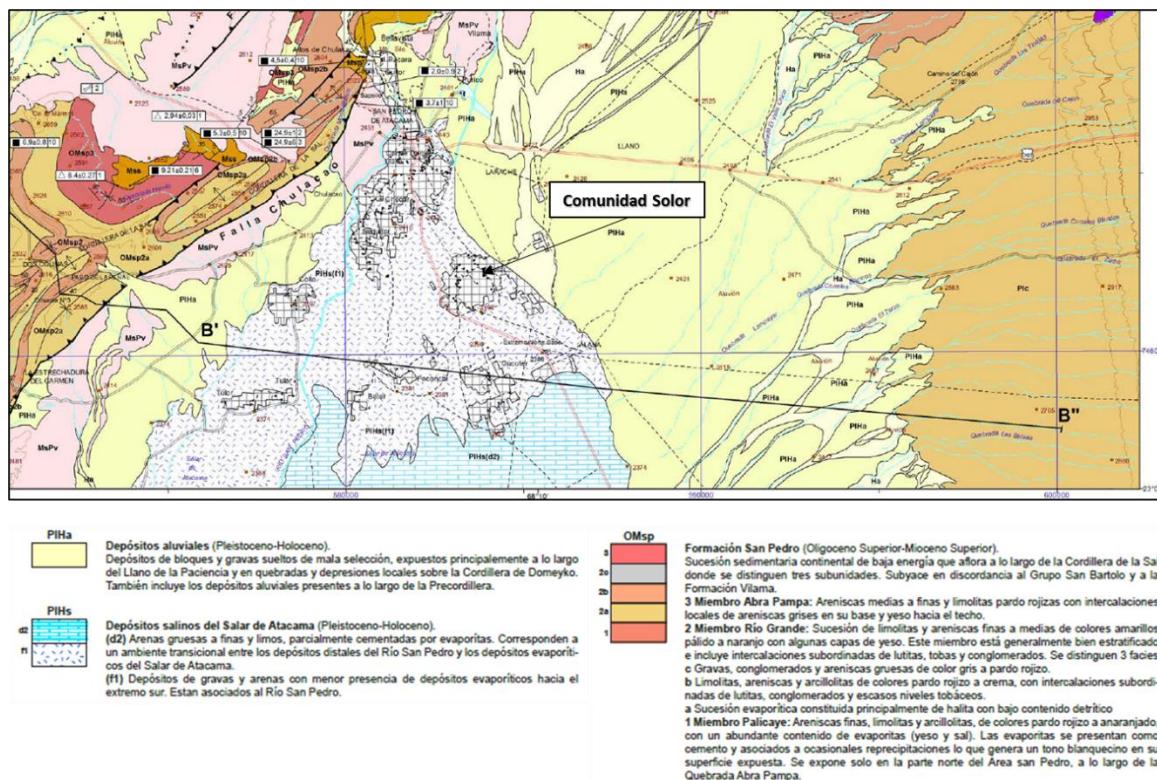
- **Formación San Pedro [Oligoceno Superior – Mioceno Superior] (OMsp)**

Está compuesta de depósitos de arcillas anaranjadas a rojas, limolitas amarillo pálido, areniscas rojas a crema con niveles locales de conglomerados y gravas grises y potentes mantos de sal y yeso.

(3) Miembro Abra Pampa: Areniscas medias a finas y limolitas pardo rojas con intercalaciones locales de areniscas grises en su base y yeso hacia el techo.

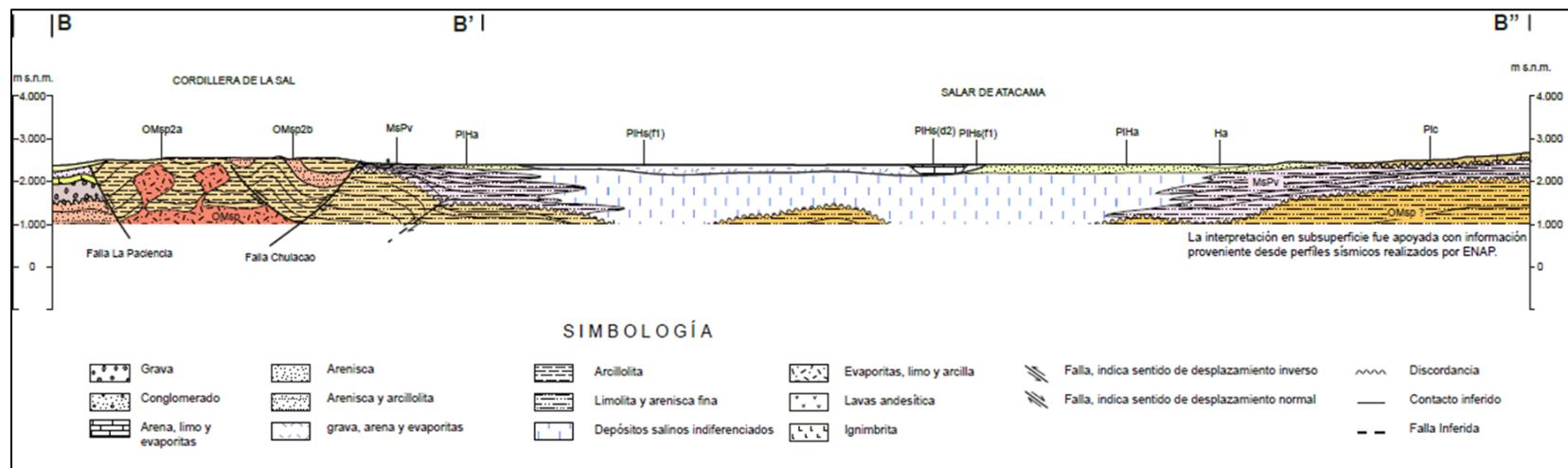
(2) Miembro Río Grande: Sucesión de limolitas y areniscas finas a medianas de colores amarillos pálidos a naranja con algunas capas de yeso. Este miembro está generalmente bien estratificado e incluye intercalaciones subordinadas de lutitas, tobas y conglomerados. Se distinguen la facie b, que corresponde a limolitas, areniscas y arcillolitas de colores pardo rojizo a crema, con intercalaciones subordinadas de lutitas, conglomerados y escasos niveles tobáceos y la facie a, que se define como una sucesión evaporítica constituida principalmente de halita con bajo contenido detrítico.

Figura 2-3: Mapa geológico del área de estudio



Fuente: Modificado de Henríquez, S. et al., 2014 y Becerra, J. et al., 2014.

Figura 2-4: Perfil esquemático BB'B''



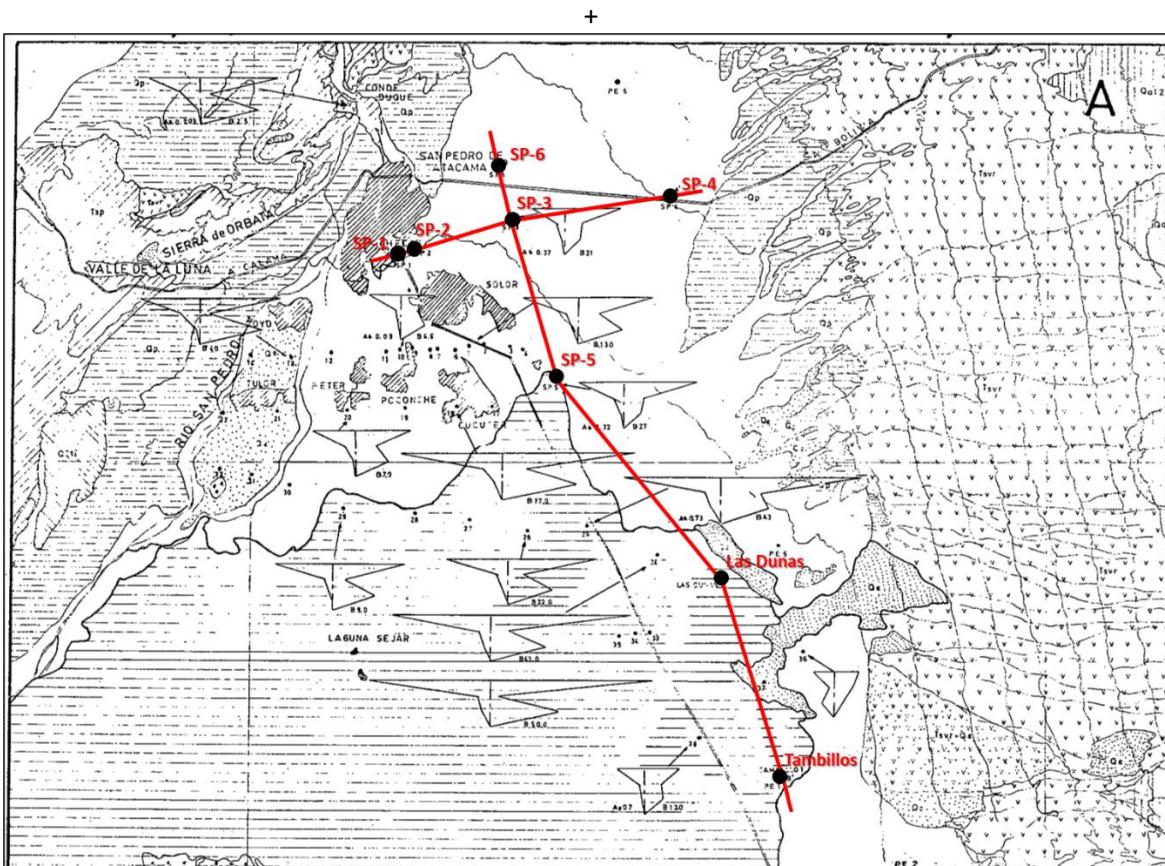
Fuente: Modificado de Henríquez, S. et al., 2014

2.2.1 Geología sub-superficie

En el informe Geología de superficie, sub-superficie y geoquímica del Salar de Atacama (Díaz del Río, Bonilla Parra & Peralta Toro, 1972) del Departamento de Recursos Hidráulicos de CORFO concluyeron que el Salar de Atacama presenta en casi toda su extensión una sucesión de cinco unidades geológicas sub-superficie pertenecientes a edades terciarias y cuaternarias.

Para la caracterización de la geología de sub-superficie se utilizaron los sondajes San Pedro N° 1 al 6, que fueron construidos en 1962 usando máquinas de percusión, los sondajes restantes fueron construidos con máquinas de rotación durante los años 1962 a 1971, por el Departamento de Recursos Hidráulicos. La ubicación de los sondajes aparece indicada en el mapa de la Figura 2-5 y es solamente aproximada, ya que se obtuvo por visadas a puntos topográficos destacados.

Figura 2-5: Ubicación de sondajes



Fuente: Díaz del Río, Bonilla Parra & Peralta Toro, 1972

Dentro de los materiales detríticos reconocidos en los sondajes, se identificaron cinco grandes unidades geológicas, tres de las cuales corresponden a sedimentos depositados en ambiente fluvial, otra unidad es de origen volcánico y la última es una unidad sedimentaria volcánica.

La litología y granulometría de las cinco unidades antes mencionadas se describe en la siguiente Tabla 2-1

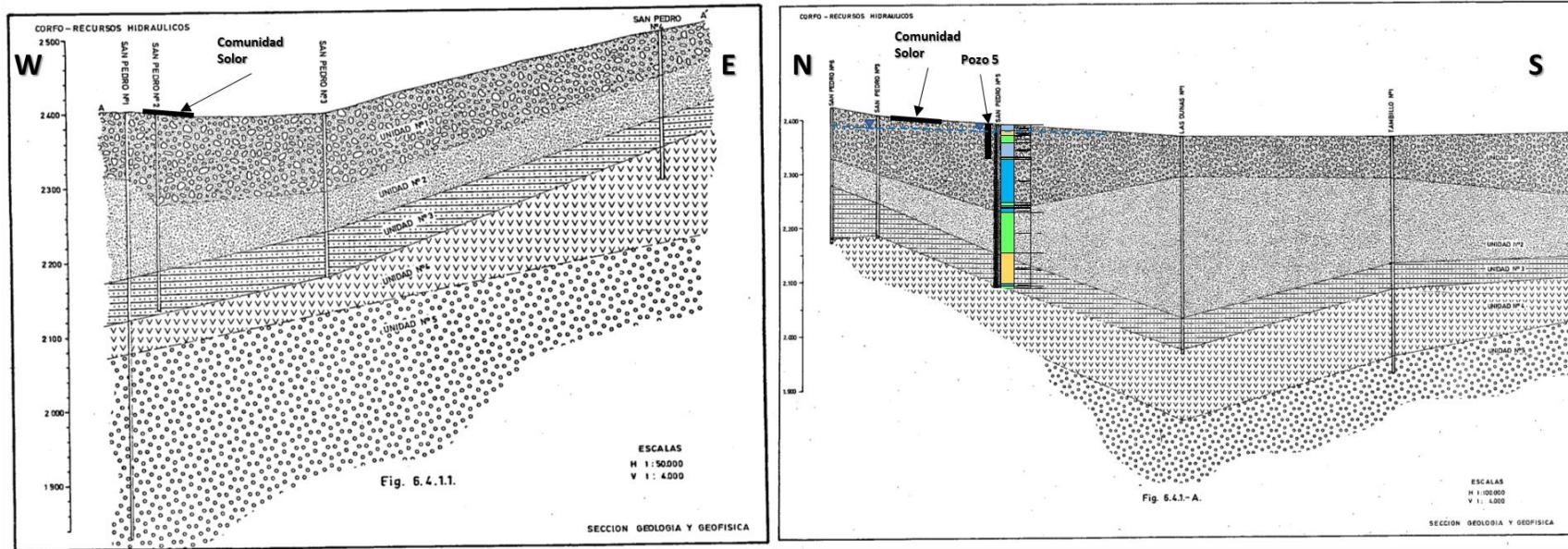
Tabla 2-1: Litología y granulometría de las unidades identificadas

Unidad	Descripción
Unidad 1	Sedimentos aluviales constituidos principalmente por fracciones gruesas del tipo arena, grava y ripio con intercalaciones de limo-arcilla. La litología de los clastos es lógicamente muy variada. Se extiende por todo el borde Norte Oriental y Sur del Salar de Atacama.
Unidad 2	Ceniza volcánica, sedimentos calcáreos con intercalaciones de sedimentos finos del tipo limo-arcilla y gruesos del tipo arena, grava y ripio; esta unidad se detecta en toda el área estudiada.
Unidad 3	Sedimentos finos del tipo limo-arcilla con intercalaciones de poca potencia de sedimentos más gruesos.
Unidad 4	Ignimbrita con variaciones en cuanto a color y textura, predominando la de color gris claro y rosada.
Unidad 5	Sedimentos aluviales constituidos por arcilla, arena y grava (5 a). Sedimentos calcáreos (5 b) con ceniza en la parte Sur del borde Oriental.

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con las características que presentan las grandes unidades geológicas, se distinguieron dos sectores diferenciables en cuanto a la estratigrafía que presentan en profundidad en el relleno del Salar: Sector Norte y Borde Oriental-Sur del Salar de Atacama. El Sector Norte comprende la parte Norte y Noreste del borde del Salar, desde un poco al Oeste de la desembocadura del río San Pedro en el Salar, hasta un poco al Norte de la quebrada de Zapar. Mientras que, el Borde Oriental-Sur se extiende desde la quebrada Zapar hacia el sur, por el borde Oriental del Salar, hasta Tilomonte y desde allí hacia el Este, hasta el agua de Tilopozo. En la Figura 2-6 se puede observar un perfil esquemático de ambos sectores.

Figura 2-6: Perfil esquematizado del Sector Norte y Sector Oriental-Sur del Salar de Atacama



Fuente: Díaz del Río, Bonilla Parra & Peralta Toro, 1972

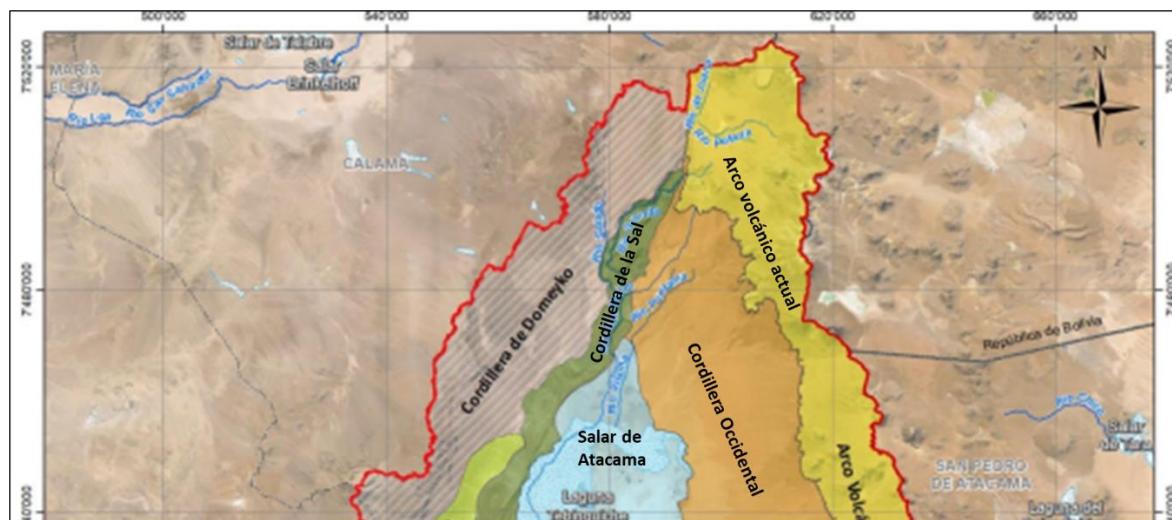
2.3 Geomorfología

La cuenca Salar de Atacama se localiza en la Cordillera Andina, entre las coordenadas 7.275.000-7.525.000 N y las coordenadas 528.700-642.000 E. Tiene una superficie de 17.007 km², con una morfología elipsoidal y con un eje mayor, que coincide con la dirección norte-sur, de aproximadamente 250 km de longitud. La altitud mínima de la cuenca es de 2.300 m s.n.m., mientras que la máxima es superior a 6.200 m s.n.m.

La cuenca está delimitada por morfoestructuras de orientación, principalmente, norte-sur. Estas se disponen, de oeste a este, en el siguiente orden: Cordillera de Domeyko, Llano de la Paciencia, Cordillera de la Sal, Salar de Atacama, Cordillera Occidental, Cordillera de los Andes (Arco volcánico actual) y el Cordón de Lila al sur. A continuación, se describe con detalle cada una de estas morfoestructuras:

- **Cordillera de Domeyko:** Forma el margen occidental de la cuenca y corresponde a un cordón montañoso de orientación aproximada NNE. Su límite oriental está marcado por un escarpe asociado al sistema de Falla El Bordo. La altura promedio de este cordón es de 3.000 m s.n.m.
- **Cordillera de la Sal:** Cordón montañoso con orientación N-S a NNE-SSW, caracterizado por la presencia de grandes pliegues y fallas que conforman una estructura anticlinal. Su altura promedio es de 2.500 m s.n.m.
- **Salar de Atacama:** Depocentro de la cuenca tectónica con forma elíptica y orientación N-S. Está constituido por depósitos salinos que cubren una superficie aproximada de 3.500 km², con una altitud media de 2.300 m s.n.m. En el centro del salar, denominado Núcleo, se encuentra una costra levantada formada por la evaporación de la salmuera y la cristalización de sales en los intersticios del material granular. El yacimiento evaporítico presenta una zonación bien definida, siguiendo el orden de solubilidad de la precipitación evaporítica: En el borde este, precipitan carbonatos; En el interior del salar, predominan los sulfatos y en el núcleo, se depositan los cloruros.
- **Cordillera Occidental:** Cordón montañoso con orientación N-S que conforma el margen oriental del Salar de Atacama. Presenta una inclinación aproximada de 2° a 5° W y una altura media de 3.500 m s.n.m. Su base está cubierta por depósitos piroclásticos y abanicos aluviales.
- **Arco volcánico actual:** Cordón montañoso de orientación N-S que delimita el borde oriental de la Cuenca de Atacama. Su topografía es irregular, con una altura media de 4.200 m s.n.m., aunque las cumbres de los volcanes activos alcanzan aproximadamente 6.000 m s.n.m.

Figura 2-7: Mapa con morfoestructuras presentes en la cuenca del Salar de Atacama

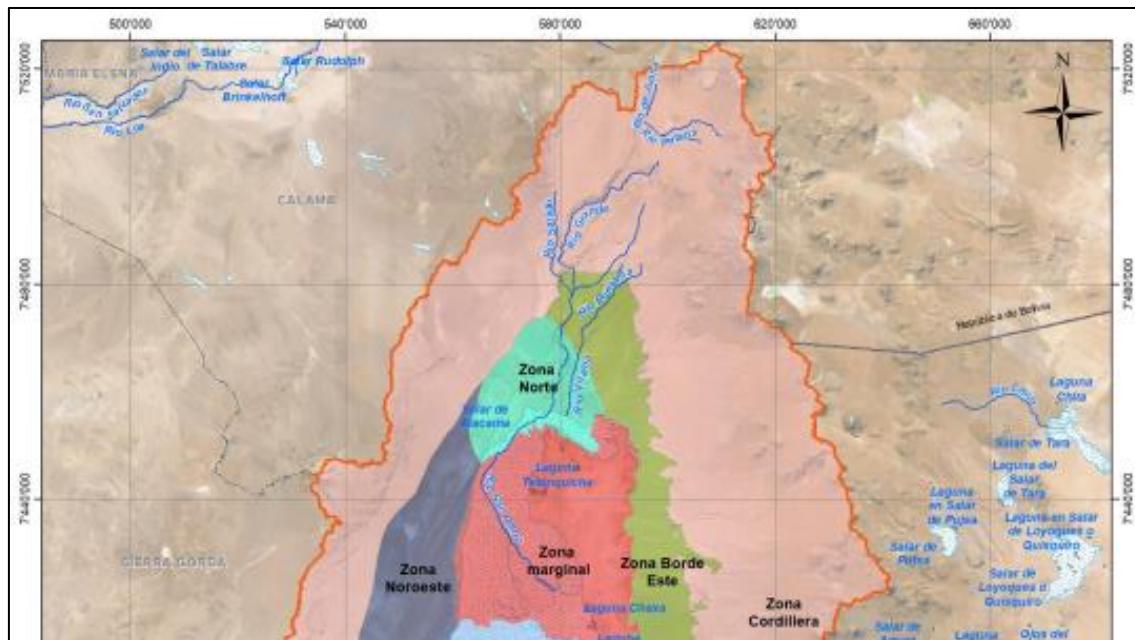


Fuente: Amhos21, 2021

2.4 Hidrogeología

En el estudio “*Modelo Hidrogeológico de la cuenca del Salar de Atacama (Amphos 21, 2021)*”, se definieron 9 zonas dentro de la zona de estudio, que según su ubicación geográfica corresponden a: zona Norte, zona Noroeste, zona Cordillera (en el extremos oriental), zona Borde Este (al oeste de la zona Cordillera y este del Salar), zona Marginal (entre la zona Borde Este y la zona Núcleo Salar).

Figura 2-8: Zonificación general del Salar de Atacama



Fuente: Modificado de Amfos21, 2021

A partir de las unidades geológicas y parámetros hidráulicos (conductividad hidráulica, K, y coeficiente de almacenamiento, S), se definieron 6 unidades hidrogeológicas (UH), que se resumen a continuación:

- UH 1: se compone de gravas, arenas, con intercalaciones de arcillas y limos, que se ubican en la zona Norte, Borde Este y MNT, con una K entre 0,2 y 200 m/d y S entre 10^{-4} y 10^{-1} . En la zona Borde Este, además, se reconocen niveles de granulometría más fina, entre los depósitos aluviales, que generan cierto grado de confinamiento sobre los niveles inferiores.
- UH 2: formada principalmente por evaporitas, compuestos por halita y yeso, en la zona Núcleo Salar, y de gravas y arenas en la zona MNT. En el sector occidental de la zona Núcleo Salar los valores de K varían entre 0,1 y 500 m/d y de S entre 10^{-3} y 10^{-1} en cambio, en la zona MNT los valores de K fluctúan entre 0,2 y 100 m/d y el S es de 10^{-1} .
- UH 3: está formada por halitas fracturadas y karstificadas en la zona Núcleo Salar, al este del SFS, y por costras salinas de sulfatos y cloruros en el sector sureste de la zona Marginal. Tiene valores de K entre 0,01 y 169.000 m/d, con S 10^{-3} y 10^{-1} .
- UH 4: se compone principalmente de halitas compactas en la zona Núcleo Salar, que subyacen a la UH5, tanto al este como al oeste del SFS, y por ignimbritas en la zona MNT. En la zona Núcleo Salar tiene una K entre 0,01 y 6 m/d, con S de 10^{-3} y 10^{-1} , mientras que, en MNT una K de 0,5 m/d y S de 10^{-1} .
- UH 5: corresponde a rocas volcánicas (ignimbritas) en la zona Norte y sedimentarias (clásticas y evaporitas) en la zona Núcleo Salar, que de forma general tiene una menor conductividad hidráulica que las unidades que se encuentran sobre y bajo esta (en el caso de la zona Norte y zona Marginal UH1 tanto arriba como abajo), lo que genera cierto grado de confinamiento de las unidades inferiores. Los valores de K varían entre 0,1 y 1 m/d en la zona Norte y entre 10^{-2} y 1 m/d en la zona Núcleo Salar. El almacenamiento es del orden de 10^{-2} y 10^{-1} .
- UH 6: está constituida por rocas intrusivas, volcánicas, volcano-sedimentarias y sedimentarias de muy baja permeabilidad (menor a 10^{-4} m/d), que no presentan recursos de agua subterránea y conforman el basamento impermeable del sistema acuífero.

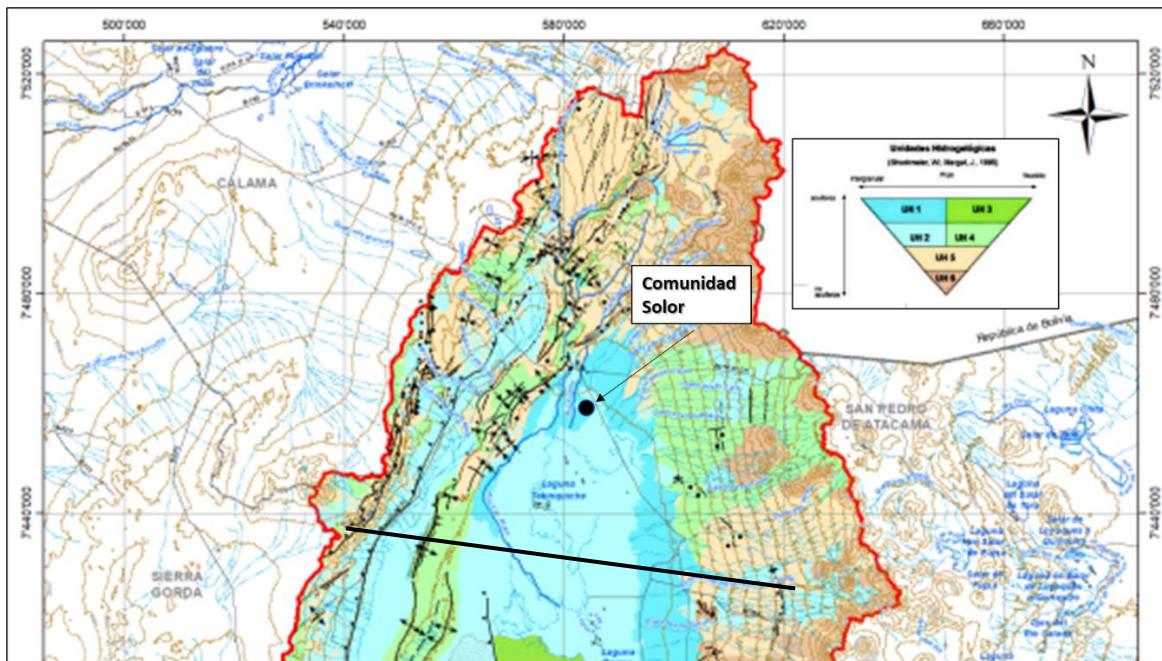
Con respecto a la piezometría de la cuenca, la dirección general del flujo de agua subterránea es concéntrica y va desde las zonas elevadas de la cuenca (zonas Cordillera, Borde Este, Norte, Noroeste y MNT), donde ocurre la mayor parte de la precipitación y recarga, hacia las zonas más deprimidas (zonas Núcleo Salar y Marginal), donde ocurre la descarga por evaporación y evapotranspiración, respectivamente. En la zona Núcleo Salar, la recarga ocurre principalmente por la infiltración directa de las precipitaciones, ya que la gran densidad de la salmuera no permite la entrada lateral subterránea de las subcuencas aportantes.

Figura 2-9: Resumen Unidades Hidrogeológicas

UH	Unidades Geológicas	Litología	Rango espesor detectado de UG (m)	Rango de permeabilidad (m/día)	Coeficientes de almacenamiento
1	Ha, PIHa	Depósitos aluviales (gravas y arenas con intercalaciones de arenas, limos y arcillas)	20 - 80	7 - 20	10^{-4} a 10^{-1}
2	PIHsh, PIHs	Secuencia evaporítica	Indefinido	0,0001 – 3.000	10^{-3} a 10^{-1}
3	PIHsh, PIHs	Halita fracturada y karstificada, costras salinas de sulfatos, transición a cloruros.	Indefinido	16 -559	10^{-3} a 10^{-1}
4	OMsp	Formación San Pedro	6 – 2.100	10^{-1} – 10^{-4}	10^{-1} a 10^{-1}
5	Mss	Ignimbrita Sifón	40 - 100	< 10^{-2}	10^{-2} a 10^{-1}
	MsQv	Formación Vilama	250 - 2500		
	Ha, PIHa	Arcillas y limos	40 - 120	10^{-2} – 10^{-4}	

Fuente: Modificado de Amphos21, 2021

Figura 2-10: Mapa hidrogeológico de la cuenca Salar de Atacama



Fuente: Amphos21, 2021

En la **!Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se presenta un perfil hidrogeológico conceptual del Sistema Acuífero Salar de Atacama. El corte corresponde a un perfil E-W que pasa por el centro del Salar de Atacama, tiene 100 km de longitud (Línea negra continua en la Figura 2-10)

En el centro del perfil, las zonas Núcleo Salar y Marginal presentan acuíferos fisurados (UH 4) con espesores de hasta 1.100 m, sobre los cuales las evaporitas conforman unidades de moderada a alta productividad (50 m). En la zona Marginal, los depósitos aluviales del Borde Este (UH 1) alcanzan 400 m de potencia. En la base, materiales del Mioceno (UH 6) tienen escasos recursos hídricos.

Al oeste, la Cordillera de la Sal, el Llano de la Paciencia y la Cordillera de Domeyko contienen secuencias sedimentarias y volcánico-sedimentarias (UH 4 y UH 5), que en profundidad pasan a unidades de menor potencial hidrogeológico (UH 5 y UH 6).

Al este, la Cordillera Occidental y el Arco Volcánico Actual están compuestos por secuencias volcánicas y volcanoclásticas (UH 6).

3 CARACTERIZACION HIDROGEOLOGICA SECTOR SOLOR

3.1 Derechos de agua

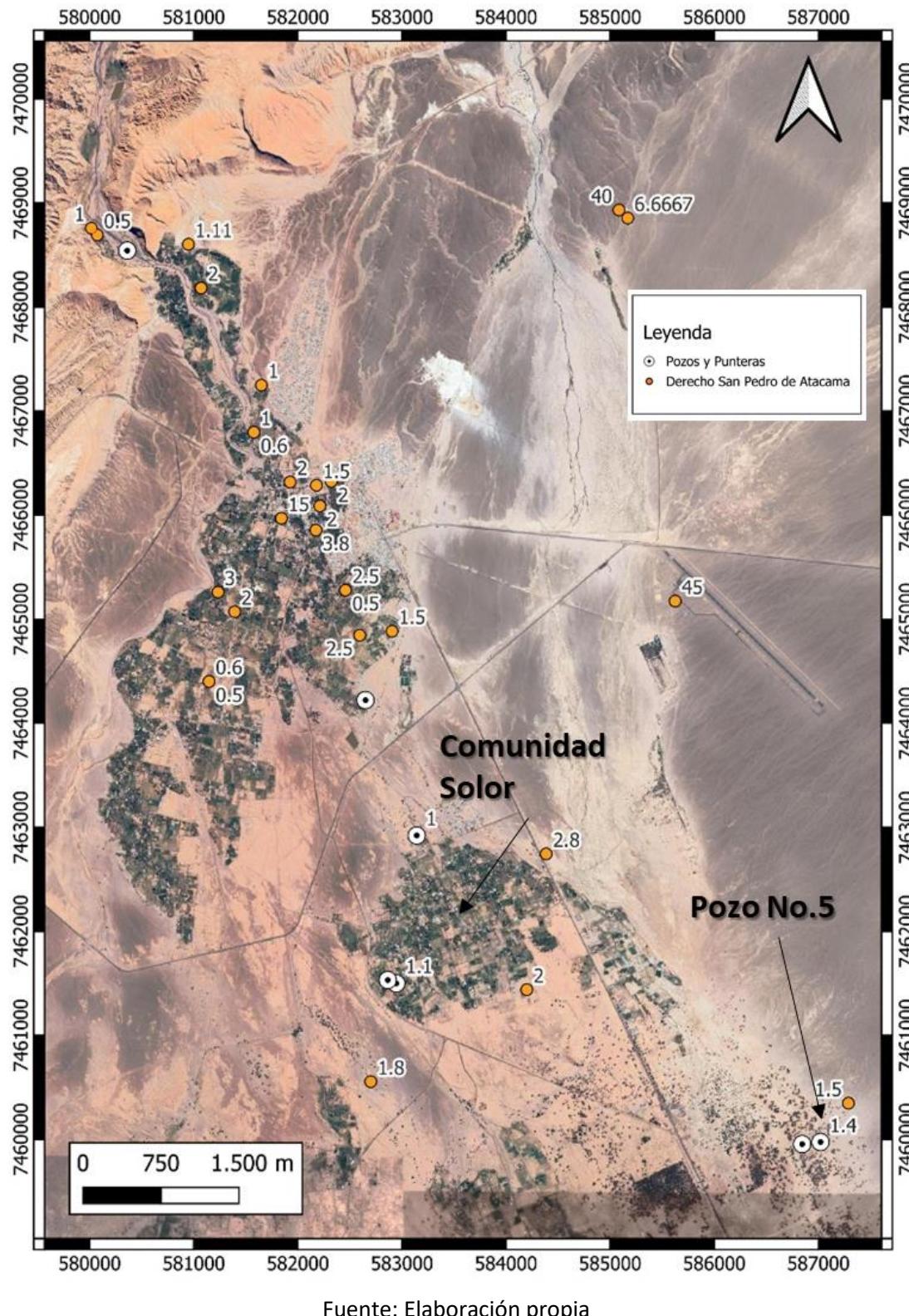
En el sector cercano a la comunidad de Solor se identificaron 36 pozos con derechos de aguas con caudales que varían entre 0,5 y 150 l/s, con un promedio de 5,8 l/s y profundidades cercanas a 50 m. Se destaca el pozo ND-0202-1595 del MOP que tiene derechos por 40 l/s y una profundidad de 150 m.

En la Comunidad de Solor hay solo dos derechos de aguas, uno perteneciente a Walter Romang (ND-0202-2699) con un caudal otorgado de 2,8 l/s y la noria de Antonio Ivanovic (ND-0202-5020) con un caudal otorgado por 0,21 l/s.

Tabla 3-1 Derechos de Agua sector San Pedro

Expediente	Región	Provincia	Comuna	Nombre_Solicitante	Fuente	Caudal	Unidad	Norte	Este	Huso	Datum	Profundidad
VPC-0202-5014	Antofagasta	El Loa	San Pedro de Atacama	COMITE DE A.P.R. Y ALCANTARILLADO DE SAN PEDRO DE ATACAMA		6,6667	Lt/s	7468856	585169	19	1984	
VPC-0202-5003	Antofagasta	El Loa	San Pedro de Atacama	ALTO ATACAMA S.A.		1	Lt/s	7468759	580017	19	1984	0
VPC-0202-5019	Antofagasta	El Loa	San Pedro de Atacama	ALTO ATACAMA S.A.	A1	0,5	Lt/s	7468693	580074	19	1984	0
ND-0202-1595	Antofagasta	El Loa	San Pedro de Atacama	FISCO, DIRECCION GENERAL DE OBRAS PUBLICAS M.O.P.	Estero Casablanca desembocadura	40	Lt/s	7468582	584878	19	1984	150
ND-0202-2845	Antofagasta	El Loa	San Pedro de Atacama	HUMBERTO URDANGARIN BELTRAN	Estero Casablanca desembocadura	1,11	Lt/s	7468252	580741	19	1984	32
ND-0202-2700	Antofagasta	El Loa	San Pedro de Atacama	WALTER ROMANG	POZO PUKARA	2	Lt/s	7467832	580863	19	1984	53
ND-0202-2212	Antofagasta	El Loa	San Pedro de Atacama	INVERSIONES DETIGNY S.A.	Estero Casablanca desembocadura	1	Lt/s	7466898	581442	19	1984	53
ND-0202-800063	Antofagasta	El Loa	San Pedro de Atacama	HOTELES DECAMERON COLOMBIA S.A.		0,6	Lt/s	7466446	581370	19	1984	50,5
ND-0202-2697	Antofagasta	El Loa	San Pedro de Atacama	RICARDO FRANCISCO VILCA SOLIS	Estero Casablanca desembocadura	1	Lt/s	7466446	581370	19	1984	50,5
ND-0202-800098	Antofagasta	El Loa	San Pedro de Atacama	COMERCIAL SUCCESO LIMITADA	Acuífero	2	Lt/s	7465973	582113	19	1984	72
ND-0202-800107	Antofagasta	El Loa	San Pedro de Atacama	EXPLORA CHILE S.A.		15	Lt/s	7465971	581842	19		105
ND-0202-2628	Antofagasta	El Loa	San Pedro de Atacama	KIMAL S.A.	POZO KIMAL	2	Lt/s	7465967	581718	19	1984	41
ND-0202-2808	Antofagasta	El Loa	San Pedro de Atacama	HOTELERIA Y CENTROS DE RECREO TERRANTAI LTDA.	Estero Casablanca desembocadura	1,5	Lt/s	7465936	581971	19	1984	74,5
ND-0202-2551	Antofagasta	El Loa	San Pedro de Atacama	INMOBILIARIA CABO DE HORNS LIMITADA	POZO TOCOPILLA	2	Lt/s	7465737	582004	19	1984	0
ND-0202-800099	Antofagasta	El Loa	San Pedro de Atacama	JORGE ENRIQUE POBLETE GRBIC Y OTROS		3,8	Lt/s	7465505	581966	19	1984	52
ND-0202-800064	Antofagasta	El Loa	San Pedro de Atacama	HOTELES DECAMERON COLOMBIA S.A.		0,5	Lt/s	7464928	582250	19	1984	54,5
ND-0202-2602	Antofagasta	El Loa	San Pedro de Atacama	RICARDO BLADIMIR QUIROZ NILO	POZO LA ALDEA	2,5	Lt/s	7464928	582250	19	1984	54,5
ND-0202-800096	Antofagasta	El Loa	San Pedro de Atacama	INVERSIONES SAN PEDRO S.A.	Acuífero	3	Lt/s	7464909	581025	19	1984	0
VPC-0202-5022	Antofagasta	El Loa	San Pedro de Atacama	TAKHA TAKHA S.A.	sector A1	1,5	Lt/s	7464885	582905	19	1984	0
ND-0202-800055	Antofagasta	El Loa	San Pedro de Atacama	COMUNIDAD ATACAMEÑA DE CATARPE Y OTROS		45	Lt/s	7464823	585417	19	1984	0
ND-0202-2702	Antofagasta	El Loa	San Pedro de Atacama	ASESORIAS E INVERSIONES KATARI S.A.	Estero Casablanca desembocadura	2	Lt/s	7464721	581186	19	1984	70
ND-0202-2507	Antofagasta	El Loa	San Pedro de Atacama	INVERSIONES SOLCOR LTDA.	Estero Casablanca desembocadura	2,5	Lt/s	7464495	582387	19	1984	50,23
VPC-0202-5016	Antofagasta	El Loa	San Pedro de Atacama	HOTELES DECAMERON COLOMBIA S.A.	Acuífero	0,6	Lt/s	7464402	581147	19	1984	
VPC-0202-5015	Antofagasta	El Loa	San Pedro de Atacama	HOTELES DECAMERON COLOMBIA S.A.	Acuífero	0,5	Lt/s	7464402	581147	19	1984	
ND-0202-2699	Antofagasta	El Loa	San Pedro de Atacama	WALTER ROMANG	Estero Casablanca desembocadura	2,8	Lt/s	7462393	584178	19	1984	44,6
ND-0202-5020	Antofagasta	El Loa	San Pedro de Atacama	ANTONIO MANUEL IVANOVIC PALMAROLA	Estero Casablanca desembocadura	0,21	Lt/s	7461715	583909	19	1984	0/*19,40
ND-0202-2382	Antofagasta	El Loa	San Pedro de Atacama	JUAN CARLOS RIQUELME PAILLAPAN Y OTROS	Estero Casablanca desembocadura	1,8	Lt/s	7461699	579030	19	1984	42
ND-0202-2738	Antofagasta	El Loa	San Pedro de Atacama	STEFFEN WELSCH	Estero Casablanca desembocadura	2	Lt/s	7461088	583992	19	1984	0
NR-0202-1376	Antofagasta	El Loa	San Pedro de Atacama	COMUNIDAD ATACAMEÑA DE SOLOR	POZO 5	1,5	Lt/s	7460349	587289	19		0
ND-0202-800059	Antofagasta	El Loa	San Pedro de Atacama	HOTELERA Y TURISMO ATACAMA LIMITADA		1,8	Lt/s	7460204	582493	19	1984	23
ND-0202-2513	Antofagasta	El Loa	San Pedro de Atacama	VALLES DE SUR S.A.	POZO NICOLA	2,5	Lt/s	7458973	580402	19	1984	25,5
ND-0202-2362	Antofagasta	El Loa	San Pedro de Atacama	EXPLORACIONES SAN PEDRO S.A.	Estero Casablanca desembocadura	150	Lt/s	7457011	591027	19	1984	0
ND-0202-1572	Antofagasta	El Loa	San Pedro de Atacama	MINERA SPENCE S.A.	Estero Casablanca desembocadura	150	Lt/s	7454398	584203	19	1984	0
ND-0202-1572	Antofagasta	El Loa	San Pedro de Atacama	MINERA SPENCE S.A.	Estero Casablanca desembocadura	150	Lt/s	7452666	584771	19	1984	0
ND-0202-800056	Antofagasta	El Loa	San Pedro de Atacama	COMUNIDAD ATACAMEÑA DE TOCONAO	Vertiente Tambillo	2,4	Lt/s	7443098	593792	19	1984	0

Figura 3-1: Ubicación de pozos con Derechos de agua de la comuna San Pedro de Atacama. Se indican sus caudales otorgados.



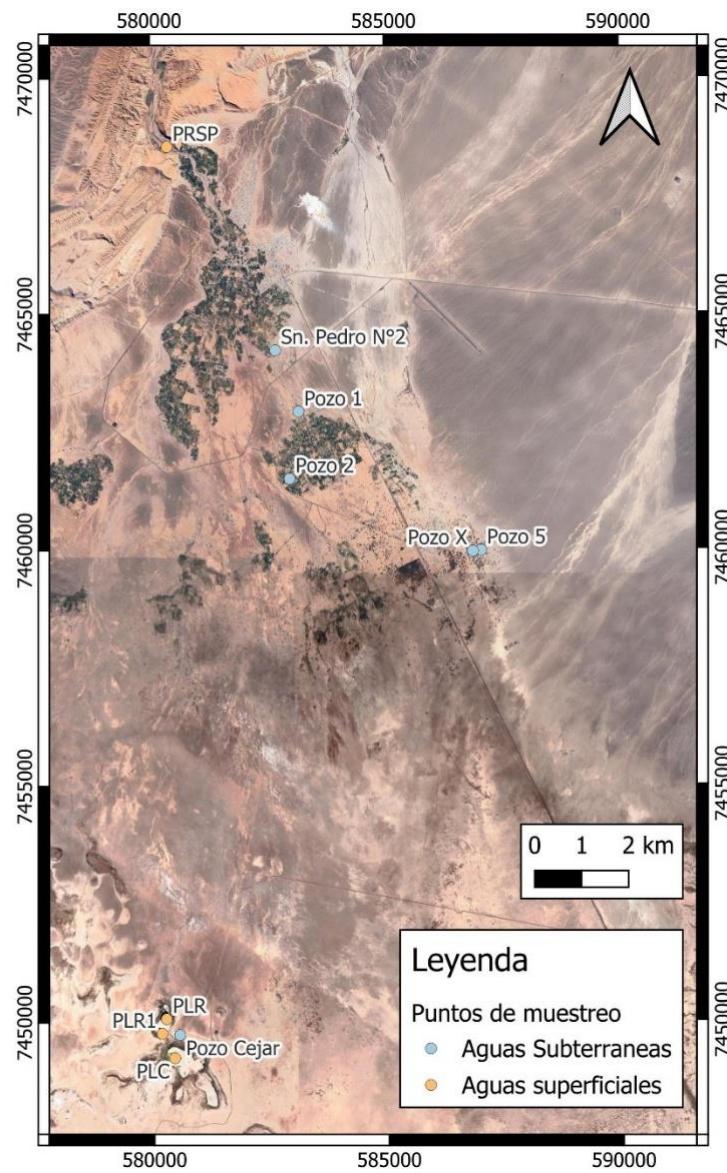
Fuente: Elaboración propia

3.2 Campaña de terreno

Entre el 24 y 27 de febrero de 2025 se realizó una campaña de levantamiento de datos de terreno para caracterizar las aguas subterráneas y superficiales, y contribuir al entendimiento del recurso hídrico en la zona de estudio para la comunidad Atacameña de Solor (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

Se recolectó información sobre pozos dentro de la comunidad; ubicación, profundidad de nivel y características generales. Se obtuvo muestra para la medición de parámetros fisicoquímicos de el Pozo 1, Pozo 2, y Pozo 3, no obstante, profundidad de nivel y fondo de cada pozo fueron estimadas con información proporcionada por sus propietarios.

Figura 3-2 Ubicación pozos revisados en la campaña



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3-2: Mediciones de pozos y punteras durante campaña febrero 2025

Punto de muestreo	UTM E (m)	UTM N (m)	Elevación (m s.n.m.)	Descripción	Fecha – Hora	Nivel (m b.n.s.u.)	Stick Up (m)	Nivel (m b.n.t.)	Nivel (m s.n.m.)	Fondo (m)	Caudal (L/s)	Observación
Pozo Nro. 5	587.021	7.459.976	2.394	Pozo de bombeo	21/2/2025 10:41	12,14	0,7	11,44	2.383	54,4	1,4	Medido
Sn. Pedro N°2	582.650	7.464.223	2.409	Pozo CORFO	26/2/2025 17:20	21,44	1,27	20,17	2.389	>123	S.I.	Medido
Pozo Cejar	580.550	7.449.730	2.338	Pozo en caseta Cejar	22/2/2025 13:16	1,365	0	1,365	2.337	6,3	S.I.	Medido
Pozo 1	583.142	7.462.922	2.407	Pozo propietario Eugenio	27/2/2025 09:32	23	0,31	22,69	2.384	49	1	Inferido
Pozo 2	582.946	7.461.500	2.403	Pozo propietaria Oriana	27/2/2025 10:09	22	0,28	21,72	2.381	-	1,1	Inferido
Pozo 3	582.864	7.461.533	2.404	Pozo propietaria Anita	27/2/2025 10:20	21	0,30	21	2.383	42	S.I.	Inferido
Pozo X	586.845	7.459.956	2.393	Pozo cercano a Pozo Nro. 5	22/2/2025 10:44	8,9	0,87	8,03	2.385	>123	S.I.	Medido

Nota: m s.n.m.: metros sobre el nivel del mar; m b.n.s.u.: metros bajo el nivel del stick up.; m b.n.t.: metros bajo el nivel del terreno; S.I.: Sin información

Fuente: Elaboración propia

3.3 Medición de parámetros fisicoquímicos in situ

Para la extracción de muestras de agua en las punteras y posterior medición de parámetros, se utilizó, en el caso de los pozos de bombeo, la bomba eléctrica si estaba instalada (Pozo Nro.5, Pozo 1 y 2); mientras que en los otros se utilizó un muestreador tipo Bailer. Para las muestras de aguas superficiales del río San Pedro se midieron los parámetros directamente en la fuente.

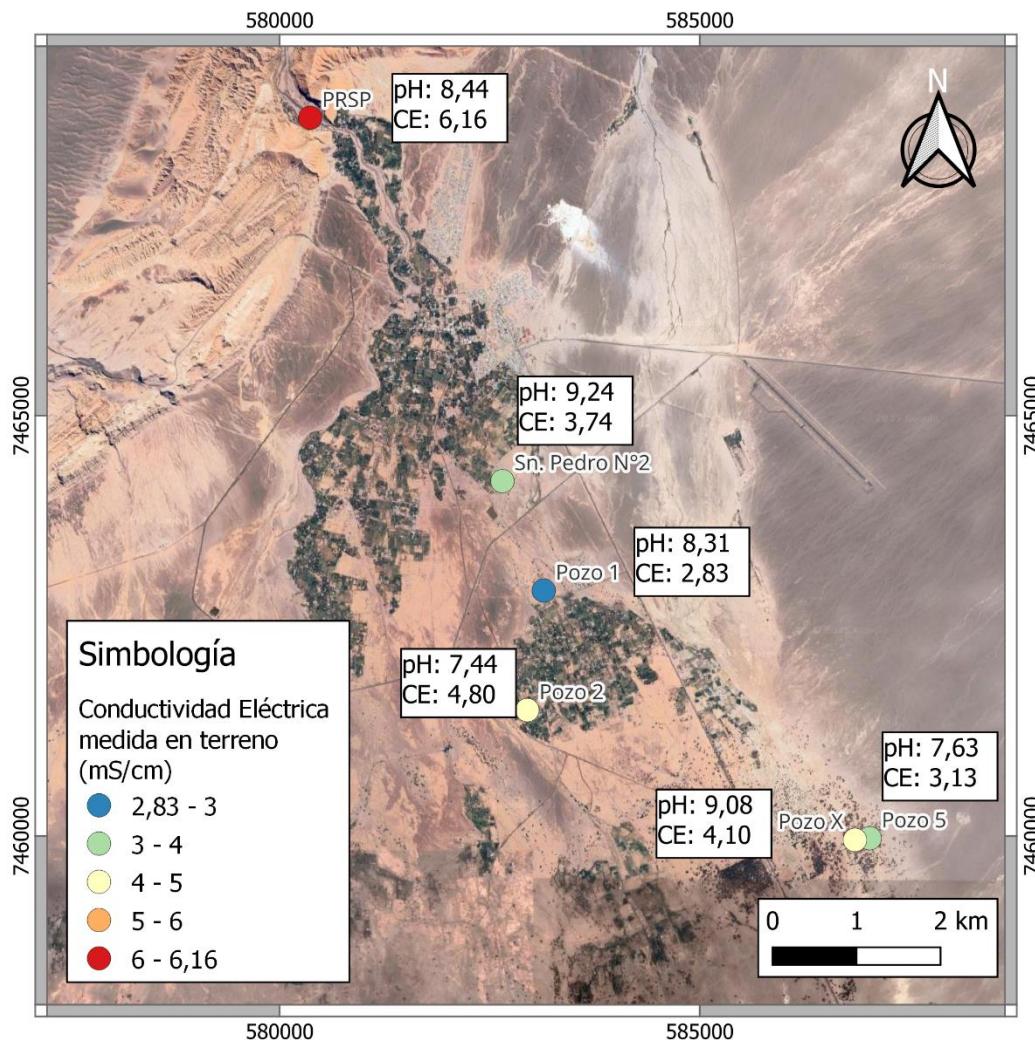
Posterior a la captura de estas muestras de agua, se midieron los parámetros en terreno de cada punto de muestreo con el instrumento multiparámetro HANNA modelo HI98194, el cual fue calibrado previamente con cuatro soluciones de valores conocidos (conductividad de 12.880 µS/cm, pH 7, pH 4,01 y pH 10). A partir de este procedimiento es que se obtiene la medición de conductividad eléctrica, Total de sólidos disueltos (TDS), pH y temperatura. El detalle de estas mediciones se encuentra en la Tabla 3-3.

La conductividad eléctrica (CE) es un parámetro fundamental en la caracterización hidroquímica del agua, ya que permite evaluar la concentración de sales disueltas en una muestra. En el sector Solor, se midieron valores de CE en diversos puntos de muestreo, tanto en aguas subterráneas como superficiales, utilizando un multiparámetro previamente calibrado (Tabla 3-3).

En aguas subterráneas, los valores de CE oscilaron entre 2.829 y 6.158 uS/cm, evidenciando una mayor variabilidad espacial en función de la profundidad y las características hidrogeológicas del sector.

Espacialmente, se puede observar en la Figura 3-3, la distribución de la conductividad eléctrica muestra un gradiente, con mayores concentraciones en cuerpos de agua expuestos a procesos de evaporación y menores valores en zonas con mayor recarga subterránea. Este comportamiento responde a la influencia de la geología local y la interacción entre el agua subterránea y la superficial, lo que permite inferir patrones de flujo y posibles zonas de mezcla.

Figura 3-3: Mapa de Conductividad Eléctrica.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3-3: Mediciones de parámetros fisicoquímicos en terreno de aguas superficiales y subterráneas.

Punto de muestreo	UTM E (m)	UTM N (m)	Elevación (m s.n.m.)	Descripción	Tipo de agua	Fecha y hora	pH	Conductividad eléctrica (uS/cm)	TDS (ppm)	Temperatura (C°)
Pozo Nro. 5	587.021	7.459.976	2.394	Pozo de bombeo n°5	Subterránea	23/2/2025 - 18:00	7,63	3.131	1.566	23,04
PRSP	580.361	7.468.544	2.460	Río San Pedro	Superficial	26/2/2025 - 18:15	8,44	6.158	3.079	24,22
Sn. Pedro N°2	582.650	7.464.223	2.409	Pozo	Subterránea	26/2/2025 - 17:20	9,24	3.739	1.869	18,01
Pozo 1	583.142	7.462.922	2.407	Pozo	Subterránea	27/2/2025 - 09:32	8,31	2.829	1.414	20,57
Pozo 2	582.946	7.461.500	2.403	Pozo	Subterránea	27/2/2025 - 10:09	7,44	4.794	2.397	19,55
Pozo X	586.845	7.459.956	2.393	Pozo	Subterránea	22/2/2025 - 10:44	9,08	4.090	2.045	22,03

Fuente: Elaboración propia.

3.4 Hidroquímica e isotopía

En el sector de Solor se recolectaron 3 muestras hidroquímicas, las cuales se detallan en el Anexo A. Estas corresponden a una muestra superficial del río San Pedro (PRSP) y de agua subterránea del Pozo San Pedro 2 y Pozo 5. La Tabla 3-4 presenta un resumen de los resultados obtenidos, incluyendo el balance iónico de cada muestra. Con base en esta información, se procede a caracterizar química e isotópicamente estos cuerpos de agua superficiales y subterráneos.



Tabla 3-4: Resumen de calidad química en las muestras.

Muestra	pH	CE	Cl	HCO ₃	SO ₄	Na Dis	K Dis	Ca Dis	Mg Dis	Al Dis	B Dis	Cu Dis	Fe Dis	Hg Dis	Li Dis	Mn Dis	Mo Dis	NO ₃	Zn Dis	Balance iónico
		μS/cm	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	%
PRSP (Rio San Pedro)	8,27	5964	1545	213	736	980	17,1	261	42	0,086	2,9	< 0,00025	0,181	< 0,00010	0,48326	0,8903	0,02438	< 0,20	< 0,005	2,24
Pozo SP2 (Corfo)	8,41	3606	1112	192	6,68	584	39,3	20,4	48,8	0,005	17,1	< 0,00025	1,7	< 0,00010	4,1511	0,1527	0,00195	< 0,20	< 0,005	4,65
Pozo 5	7,72	3049	719	257	310	410	29,7	103	49,7	0,005	15	< 0,00025	0,13	< 0,00010	3,0088	< 0,0005	0,03101	< 0,20	< 0,005	5,32

Fuente: Elaboración propia.

3.4.1 Caracterización elemental

A partir de la representación gráfica de los elementos mayores, menores y trazas en las Figura 3-4 y Figura 3-5, se puede caracterizar químicamente cada una de las 3 muestras obtenidas en el Sector de Solor y alrededores:

Río San Pedro:

Se observa una alta concentración de cloruros (1545 mg/L), sodio (980 mg/L), sulfatos (740 mg/L) y calcio (260 mg/L) en comparación con las muestras de los pozos. Por el contrario, presenta menores concentraciones de potasio (17 mg/L), magnesio (42 mg/L) y bicarbonato (aproximadamente 200 mg/L), siendo este último valor similar al registrado en el Pozo San Pedro 2.

En cuanto al contenido de metales, las muestras del río exhiben concentraciones particularmente bajas, siendo las menores en boro, litio y hierro. Sin embargo, se registran concentraciones relativamente elevadas de arsénico y manganeso. El resto de los metales se encuentran mayoritariamente bajo los límites de detección.

Pozo San Pedro 2:

El agua de este pozo presenta una composición química intermedia entre las muestras del Río San Pedro y del Pozo 5. Se distingue por su alta concentración de potasio (40 mg/L), así como por sus bajos valores de bicarbonato (190 mg/L), sulfato (6,7 mg/L) y calcio (20 mg/L).

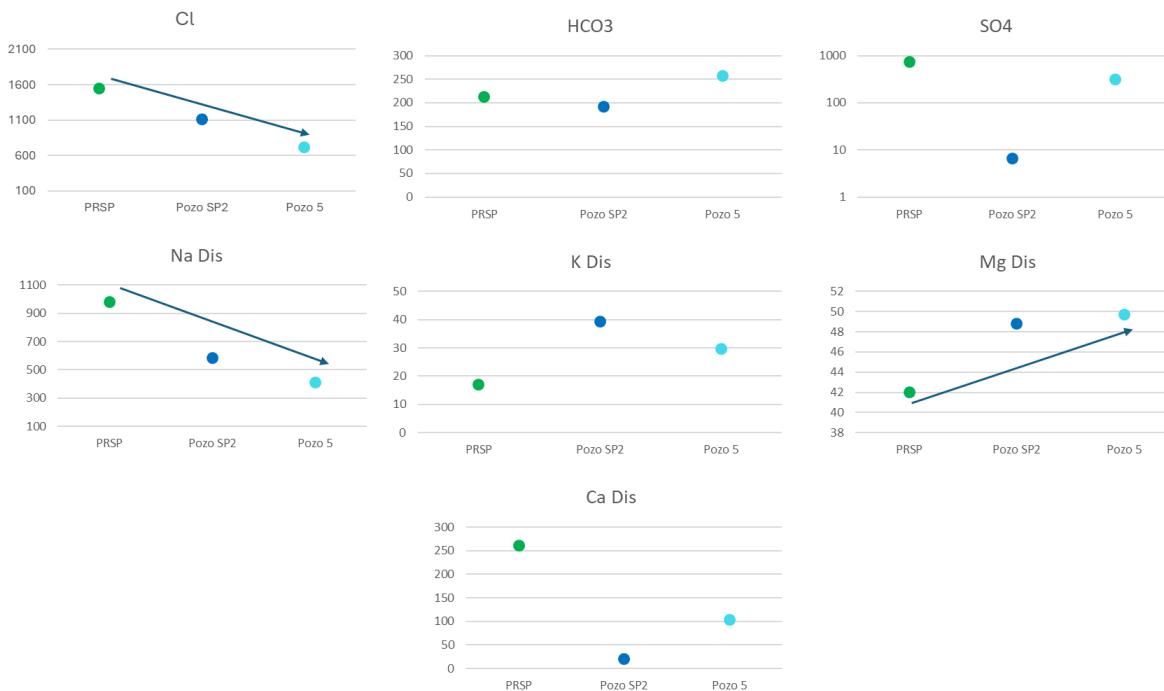
En cuanto a los metales, destaca la alta presencia de boro, litio y hierro, mientras que el arsénico muestra las concentraciones más bajas entre las tres muestras analizadas.

Pozo 5:

Esta muestra presenta la mayor concentración de bicarbonato (260 mg/L) y magnesio (49,7 mg/L), mientras que los valores de cloruros (720 mg/L) y sodio (410 mg/L) son los más bajos del conjunto. El resto de los elementos presenta concentraciones intermedias entre las registradas en el Río San Pedro y en el Pozo San Pedro 2.

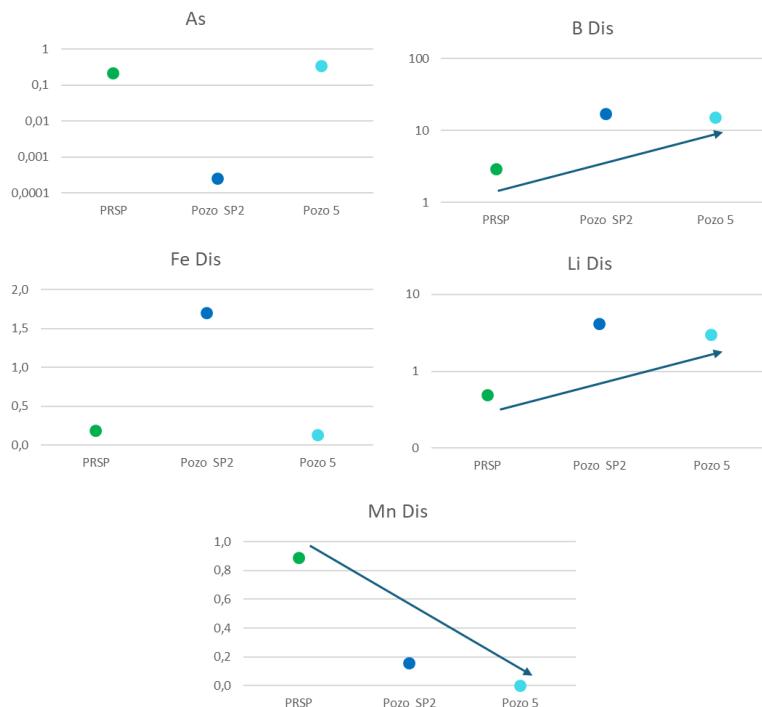
Respecto a los metales, el Pozo 5 exhibe mayores concentraciones, en orden decreciente, de boro, litio y arsénico, mientras que los niveles de hierro y manganeso se mantienen bajos.

Figura 3-4: Elementos mayores de las muestras Río San Pedro, Pozo San Pedro 2 y Pozo 5.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-5: Elementos menores y trazas de las muestras Río San Pedro, Pozo San Pedro 2 y Pozo 5.



Fuente: Elaboración propia.



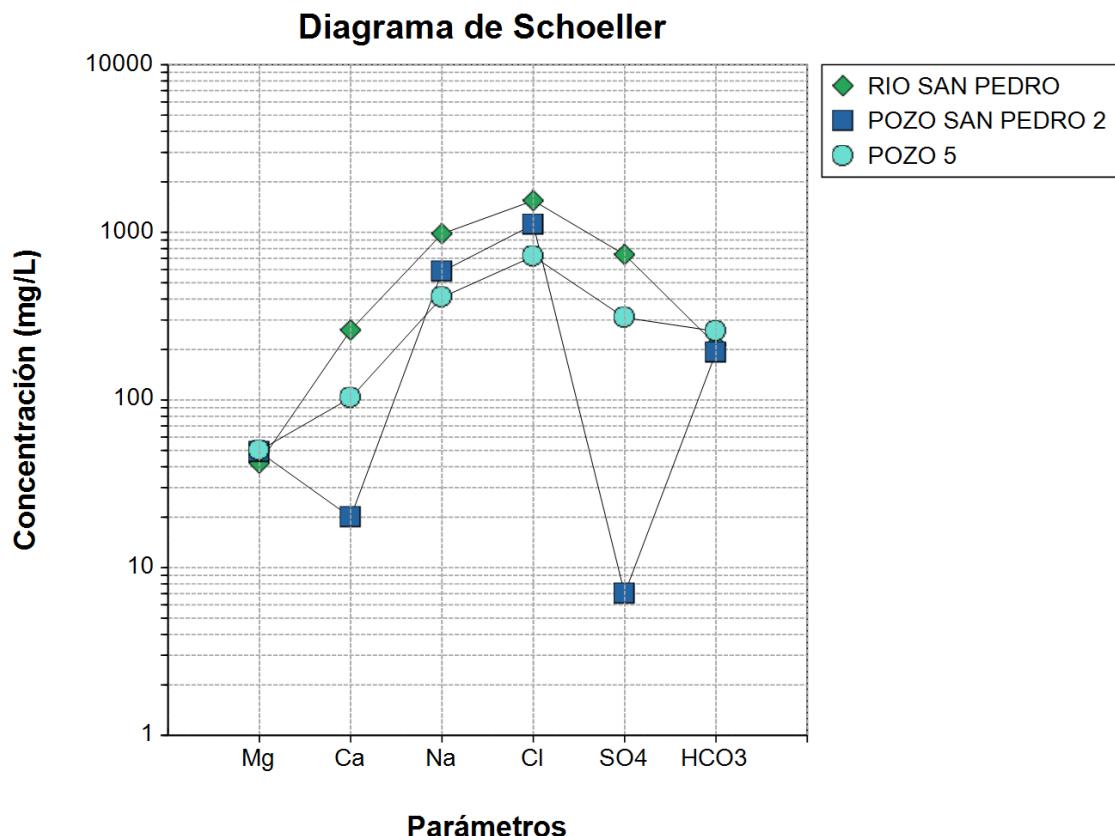
3.4.2 Diagramas de clasificación

El diagrama Schoeller (Figura 3-6), evidencia una alta concentración de cloruros y sodio en todas las muestras, tanto superficiales como subterráneas, con un claro predominio en la muestra superficial del río San Pedro. Estas concentraciones disminuyen progresivamente aguas abajo, siendo menores en el Pozo San Pedro 2 y alcanzando sus valores más bajos en el Pozo 5.

Aunque el río San Pedro también presenta mayores concentraciones de calcio y sulfato, estas especies se encuentran en menores proporciones en las aguas subterráneas, con diferencias marcadas entre los pozos. En este caso, el Pozo 5, ubicado en las cercanías de Solor, exhibe concentraciones más elevadas de calcio y sulfato que el Pozo San Pedro 2.

En cuanto al magnesio y al bicarbonato, las concentraciones son relativamente similares entre las muestras del río y los pozos, sin presentar una tendencia clara de variación espacial.

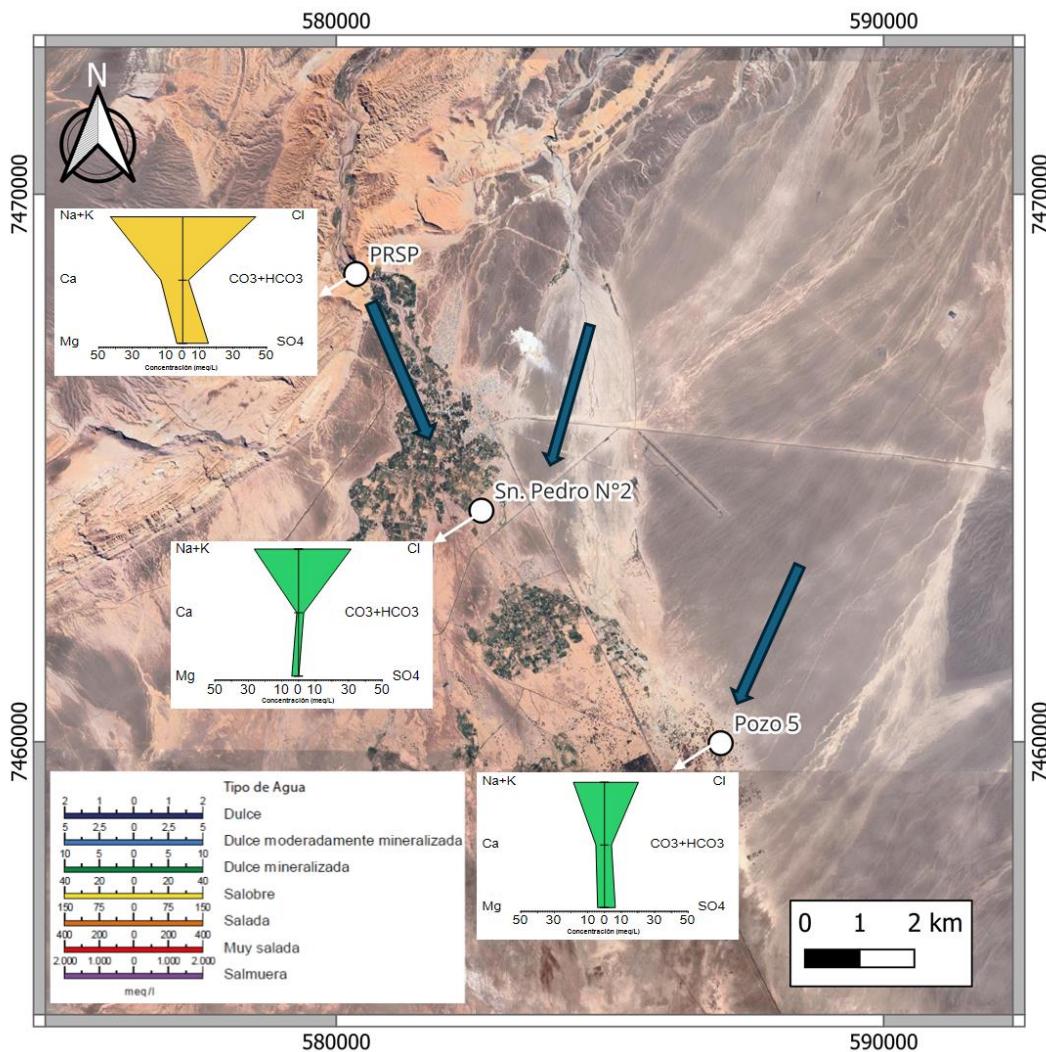
Figura 3-6: Diagrama Schoeller con muestras cercanas a Solor.



La variación espacial observada a través de los diagramas de Stiff en la Figura 3-7 evidencia una alta predominancia del cloruro entre los aniones y del sodio entre los cationes, con un aporte secundario de potasio, en todas las muestras.

En términos generales, la muestra del Río San Pedro presenta las mayores concentraciones de iones, lo que permite clasificar sus aguas como salobres. Las aguas subterráneas del Pozo San Pedro 2 muestran una composición intermedia, con características entre aguas salobres y aguas dulces mineralizadas, debido a su elevado contenido de sodio y cloruro. Finalmente, el Pozo 5 presenta la menor concentración de iones disueltos, clasificándose como agua dulce mineralizada.

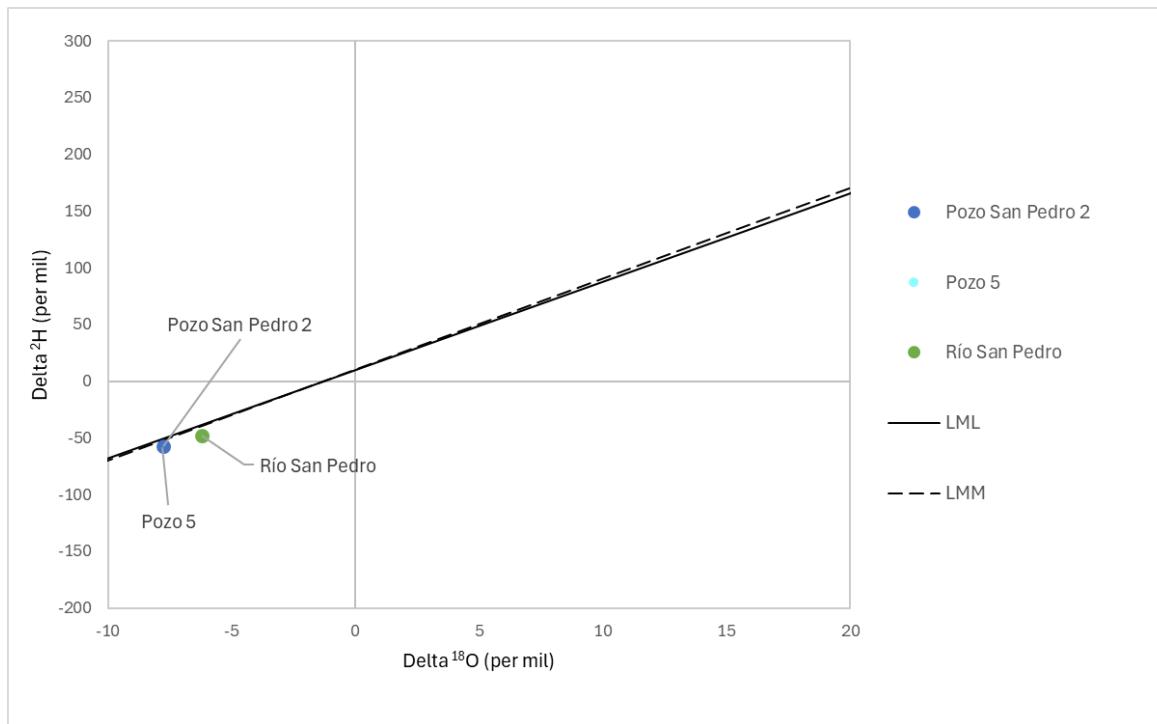
Figura 3-7: Diagrama de Stiff con muestras cercanas a Solor.



3.4.3 Isótopos

Los resultados isotópicos del agua ($\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^2\text{H}$) permiten interpretar el origen de la recarga en las aguas superficiales del río San Pedro y en los pozos ubicados en los alrededores de Solor. Las muestras analizadas, tanto del río como de los pozos, se encuentran próximas a la Línea Meteórica Mundial (LMM) y a la Línea Meteórica Local (LML), lo que indica que las aguas tienen un origen meteórico, es decir, derivado directamente de la precipitación, con leves evidencias de procesos de evaporación previos a la infiltración en el río San Pedro, a diferencia de los pozos.

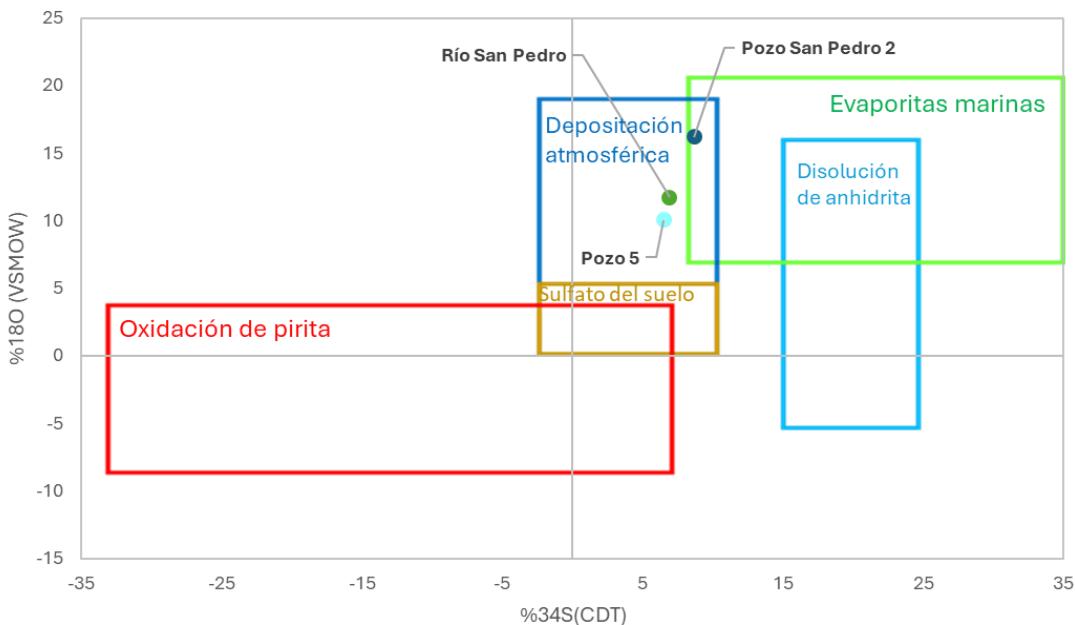
Además, la predominancia de isótopos livianos en las muestras, reflejada en valores negativos en el gráfico, sugiere que la recarga se produce principalmente en las zonas altas de la cuenca, donde las temperaturas son más bajas y la fracción isotópica más ligera.



El análisis isotópico del sulfato presente en las muestras de agua permite identificar su posible origen. La mayoría de las muestras se agrupan dentro del campo característico de la deposición atmosférica, lo que sugiere que el sulfato proviene principalmente de aportes atmosféricos. En este contexto, es probable que dicha deposición esté asociada a la actividad volcánica presente en la zona alta de recarga, donde el azufre puede incorporarse a la atmósfera en forma gaseosa y posteriormente oxidarse y depositarse en forma de sulfato.

Por otro lado, la muestra del Pozo San Pedro 2 se posiciona levemente próxima al rango isotópico característico de evaporitas marinas, lo cual podría indicar que además de la deposición

atmosférica, posiblemente también exista una interacción con rocas que contengan sulfatos de origen sedimentario como las evaporitas.



3.4.4 Norma de calidad de aguas

De acuerdo con los resultados químicos obtenidos de las muestras de agua analizadas, se realizó una comparación con la normativa chilena de calidad de agua potable según la NCh 409 (Tabla 3-5) y con la normativa de calidad química de agua para riego NCh1333 (Tabla 3-6), con el fin de identificar los elementos o parámetros fisicoquímicos que exceden los umbrales establecidos en dichas normativas.

En términos generales, todas las muestras presentan un pH neutro a levemente alcalino, con valores inferiores a 8,5, por lo que se encuentran dentro del rango permitido por la normativa de agua potable.

En cuanto a los elementos presentes, destaca el cloruro, que supera el umbral normativo en todas las muestras, especialmente en la del río San Pedro (+1300 mg/L por sobre el límite), seguida del Pozo San Pedro 2 (+850 mg/L) y, en menor medida, el Pozo 5 (+470 mg/L). El sulfato excede el límite únicamente en la muestra del río San Pedro (+240 mg/L). Por otro lado, el hierro sobrepasa el umbral en el Pozo San Pedro 2 (+1,4 mg/L), mientras que el manganeso lo hace en ambas muestras: de manera leve en el pozo (+0,005 mg/L) y más significativa en el río (+0,8 mg/L).

El arsénico también se encuentra por encima del valor normativo, tanto en la muestra del río San Pedro como, en mayor proporción, en la del Pozo 5.

Tabla 3-5: Comparación con la normativa de calidad de agua potable

Elementos o parámetros fisicoquímicos	NCh409	PRSP	Pozo SP2	Pozo 5
pH	6-8,5	8,27	8,41	7,72
Cloruro	250	1545	1112	719
Nitrito	1	< 0,02	< 0,02	< 0,02
Nitrato	10	< 0,20	< 0,20	< 0,20
Sulfato	500	736	6,68	310
Cobre	1	< 0,00025	< 0,00025	< 0,00025
Hierro	0,3	0,18	1,7	0,13
Magnesio	125	42	49	50
Manganoso	0,1	0,89	0,15	< 0,0005
Zinc	5	< 0,005	< 0,005	< 0,005
Cadmio	0,01	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005
Mercurio	0,001	< 0,00010	< 0,00010	< 0,00010
Plomo	0,05	< 0,00025	< 0,00025	< 0,00025
Arsénico	0,05	0,22	0,0003	0,35

Fuente: Elaboración propia

Al comparar los resultados con la normativa para agua de riego (NCh 1333), se observa un mayor número de superaciones a los valores límite. Los parámetros de conductividad eléctrica y sólidos totales disueltos sobrepasan los umbrales en todas las muestras, siendo más elevados en el río San Pedro, seguido del Pozo San Pedro 2 y, finalmente, el Pozo 5. El pH levemente alcalino del Pozo San Pedro 2 también excede ligeramente el límite establecido para el agua de riego.

El contenido de cloruro y boro sobrepasa la normativa en todas las muestras. En tanto, el río San Pedro excede los valores permitidos de sulfato, manganoso, molibdeno y arsénico. Entre las aguas subterráneas, ambas muestras superan el umbral de litio; sin embargo, solo el Pozo 5 sobrepasa los límites establecidos para sulfato y molibdeno.

Tabla 3-6: Comparación con la normativa de calidad de agua de riego

Elementos o parámetros fisicoquímicos	Unidad	NCh1333	PRSP	Pozo SP2	Pozo 5
Conductividad eléctrica	µS/cm	750	5964	3606	3049
pH		6,5-8,3	8,27	8,41	7,72
Total de sólidos disueltos	mg/L	500	3240	1720	1460
Berilio	mg/L	0,1	< 0,00025	< 0,00025	< 0,00025
Cloruro	mg/L	200	1545	1112	719
Sulfato	mg/L	250	736	6,68	310
Boro	mg/L	0,75	2,9	17,1	15
Cobre	mg/L	0,2	< 0,00025	< 0,00025	< 0,00025
Hierro	mg/L	5	0,18	1,7	0,13
Litio	mg/L	2,5	0,48	4,15	3,01
Níquel	mg/L	0,2	< 0,00025	< 0,00025	< 0,00025
Manganeseo	mg/L	0,2	0,89	0,15	< 0,0005
Molibdeno	mg/L	0,01	0,024	0,002	0,031
Zinc	mg/L	2	< 0,005	< 0,005	< 0,005
Aluminio	mg/L	5	0,086	0,005	0,005
Cadmio	mg/L	0,01	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005
Mercurio	mg/L	0,001	< 0,00010	< 0,00010	< 0,00010
Plomo	mg/L	5	< 0,00025	< 0,00025	< 0,00025
Arsénico	mg/L	0,1	0,22	0,0003	0,35

Fuente: Elaboración propia.

3.5 Niveles y Piezometría

El estudio piezométrico en el sector Solor permitió determinar los niveles de agua subterránea a partir de mediciones directas en pozos y punteras. Los niveles estáticos variaron entre 0,05 (Puntera LC) y 22,69 (Pozo 1 inferido) metros bajo el nivel del terreno (m b.n.t.), dependiendo de la ubicación y las características del acuífero.

Para la elaboración del mapa piezométrico (Figura 3-8), se recopiló y procesó la información de niveles estáticos de agua subterránea obtenida en los distintos puntos de muestreo (Tabla 3-2), así como los datos de niveles estáticos de los pozos con derechos de agua dentro del área de estudio. Para esto, se ingresaron los datos de nivel con respecto al nivel del mar (

Tabla 3-7).



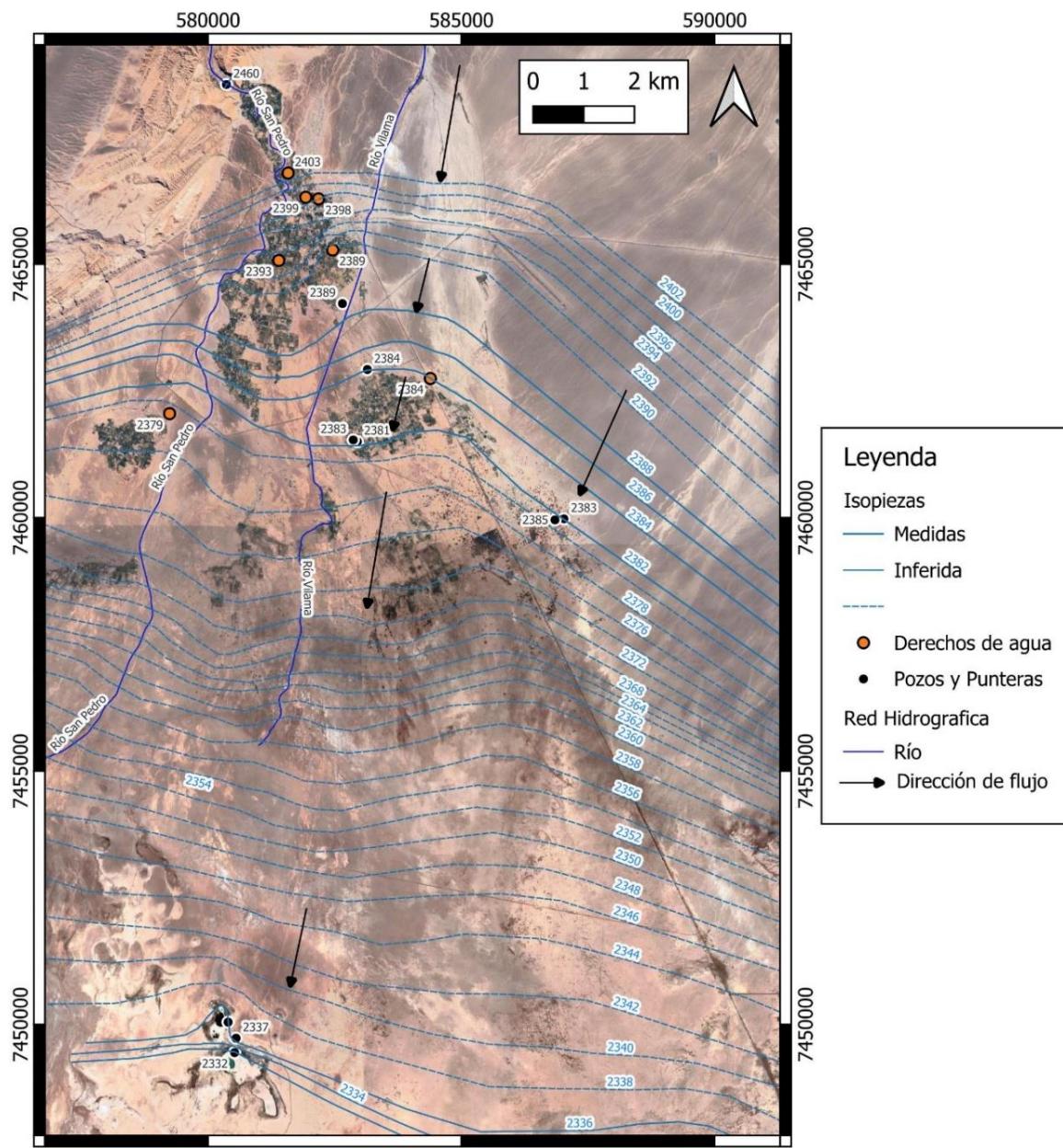
Tabla 3-7: Niveles piezométricos del área de estudio

Punto	Elevación (m s.n.m.)	Nivel (m b.n.t.)	Nivel (m s.n.m.)
Pozo Nro. 5	2.394	11,44	2.383
Sn Pedro N°2	2.409	20,17	2.389
Pozo Cejar	2.338	1,365	2.337
Pozo 1	2.407	22,69	2.384
Pozo 2	2.403	21,72	2.381
Pozo 3	2.404	21	2.383
Pozo X	2.393	8,03	2.385
Puntera Laguna Cejar	2.332	0,05	2.332
Puntera Laguna Piedra 2	2.336	0,07	2.336
Río San Pedro	2.460	0	2.460
ND-0202-2697	2.246	43,00	2.203
ND-0202-2808	2.441	42,32	2.398
ND-0202-2702	2.444	40,24	2.393
ND-0202-2699	2.422	33,29	2.384
ND-0202-2513	2.431	37,77	2.394
ND-0202-2602	2.418	31,28	2.389
ND-0202-2628	2.404	20,30	2.399
ND-0202-2551	2.411	16,70	2.404

Nota: los pozos ND-XX muestran niveles asociados a las fechas de construcción, por lo que sus niveles son solo referenciales

Fuente: Elaboración propia

La configuración piezométrica permite inferir direcciones de flujo subterráneo, indicando zonas de recarga y descarga del acuífero. Se evidencia una dirección de flujo noreste a suroeste. En general, los valores más bajos se registraron en zonas cercanas a cuerpos de agua superficiales, lo que sugiere una posible conexión entre el sistema freático y los sistemas lagunares del sector.

Figura 3-8: Niveles y piezometría


Fuente: Elaboración propia.

3.6 Propuesta de localización de un nuevo pozo

Para la propuesta de un pozo para la comunidad, se consideraron 5 criterios principales, 1) que el pozo estuviera dentro de la propiedad de la comunidad, 2) que su calidad fuera la mejor posible, 3) no tener aportes desde centros poblados, 4) lejos de otros pozos con derechos de aguas y 5) a una profundidad que permitiera una producción sustentable.

En función de los antecedentes analizados y de la información levantada en terreno, se determinó que las direcciones de flujo provienen desde el norte, noreste y noroeste, que inmediatamente al norte de la comunidad, a aproximadamente 1,5 km, se ubica la planta de tratamiento de aguas servidas, considerada como un potencial foco de contaminación, que el pozo de la comunidad ubicado al norte (Pozo 1 en Figura 3-9) tiene mejor calidad química que el Pozo 2 (Figura 3-9) y que los aportes desde el noreste no tienen influencia de los centro poblados, como serían los aportes deseos el noroeste o aguas abajo de Solor.

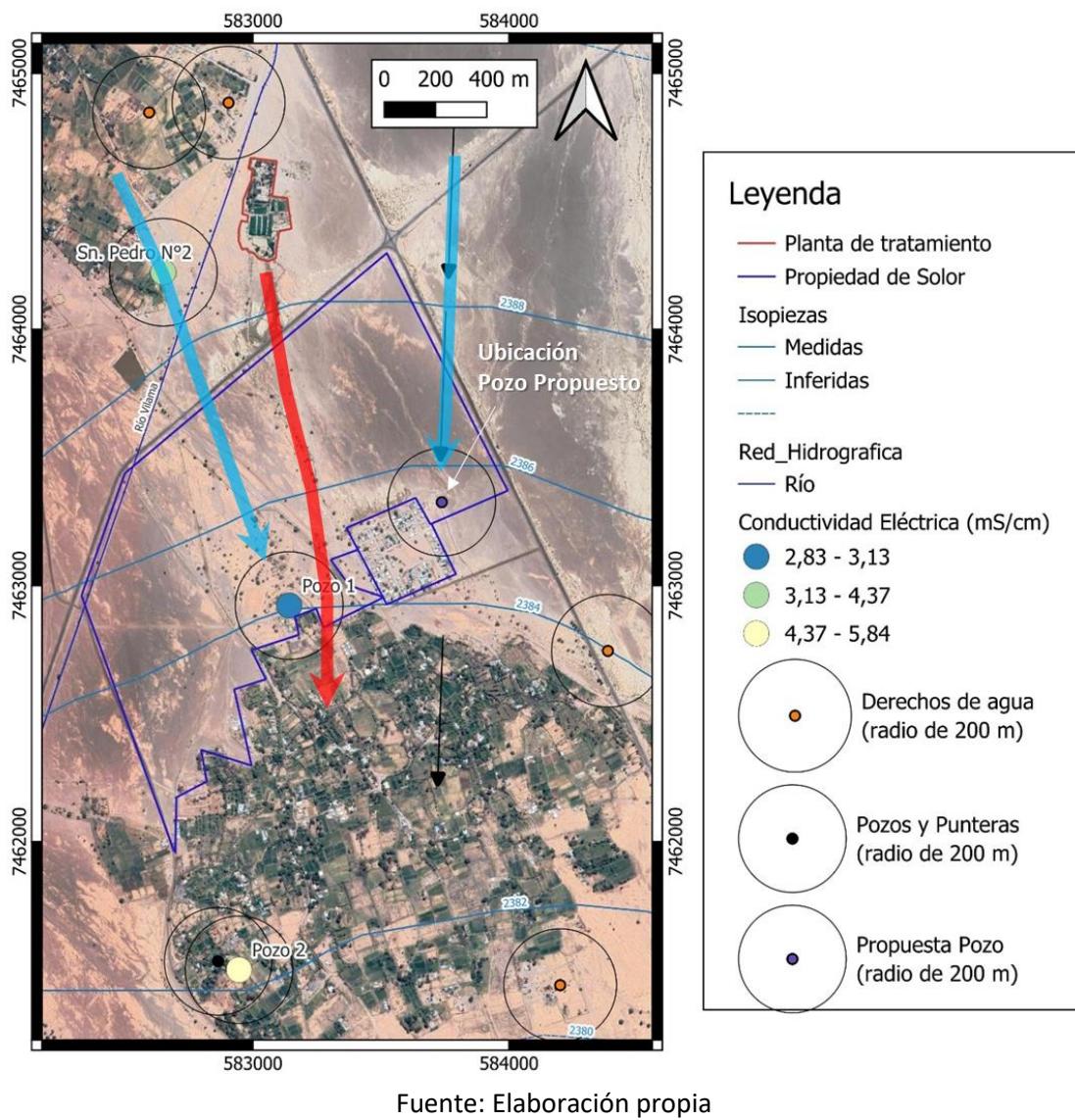
En base a la información disponible de la perforación del Pozo Sn Pedro N°2, la estratigrafía corresponde a la unidad hidrogeológica (UH-1) caracterizada por la ocurrencia de una secuencia sedimentaria y volcánica, compuesta por unidades arenosas con intercalaciones de arenas arcillosas, en la que se detectaron dos acuíferos saturados (de 21,7 a 24,4 m y de 35 a 37 m de profundidad). Destaca de la estratigrafía del Pozo Sn Pedro N°2, una potente unidad de ceniza (89 m) encontrada alrededor de los 123 m de profundidad (Anexo 10).

A partir de estos antecedentes se establece que la mejor localización se logaría hacia el noreste del Ayllú de Solor (Figura 3-9). Este sector estaría caracterizado por localizarse en la dirección de la recarga proveniente de la cordillera de los Andes, con la presencia de acuíferos de calidad moderada, alejado de posibles infiltraciones de la planta de tratamiento y de otros pozos con derechos otorgados por la DGA.

De acuerdo con las características de otros pozos perforados en el sector se estima que es posible obtener caudales de 5 a 7 l/s con un pozo de 80 m. Sin embargo, a partir de la química para el Pozo 5 (ubicado aguas abajo y con similares profundidades), se establece **que excedería los parámetros de la norma de agua potable (NCh 409) en los parámetros Cl y As y que excedería los valores máximos de la norma de riego (NCh 1333) en Conductividad eléctrica, Total de Solidos Disuelto, Cl, SO₄, B, Li, Mo y As.**

Por lo que este pozo debiera contar con una **planta de tratamiento para potabilizarla** o en su defecto dejarla con calidad para riego. Se estima que, dado que excede en solo dos parámetros para la norma de agua potable, este pozo sea perforado para dicho fin, y con esto independizarse de la empresa de agua potable local.

Figura 3-9: Propuesta Ubicación Nuevo Pozo



4 CONCLUSIONES

- La distribución de la conductividad eléctrica en el sector Solor muestra valores más elevados en aguas superficiales debido a la evaporación y concentración de sales, mientras que en aguas subterráneas varía según la profundidad y la interacción con el entorno geológico.
- Las muestras del río San Pedro presentan las mayores concentraciones de elementos como cloruros, sodio, sulfatos y calcio en comparación a las aguas subterráneas. En contraste, el Pozo 5 destaca por poseer la mayor concentración de bicarbonato y magnesio, mientras que el Pozo San Pedro 2 presenta una química intermedia entre el río y el Pozo 5, más similar a este último con una mayor concentración de potasio.

- El contenido de metales está en baja concentración en general, siendo aún más bajos en el río San Pedro a excepción del manganeso y en menor medida de arsénico. En el Pozo San Pedro 2, destacan valores elevados de boro, litio y hierro. En el Pozo 5, los metales predominantes son el boro, litio y arsénico.
- Las aguas del río San Pedro tiene una mayor carga de elementos mayores disueltos que clasifica sus aguas como salobres, en cambio los pozos poseen rangos de aguas dulce mineralizadas.
- Según la norma de agua potable (NCh409), el cloruro excede los umbrales en todas las muestras, al igual que el sulfato en el río San Pedro y el hierro en el Pozo San Pedro 2. También se destacan las excedencias de arsénico y manganeso en estas dos muestras.
- En relación con la norma de agua de riego (NCh1333), se identifican más parámetros fuera de norma: todas las muestras superan los límites de cloruro, boro, conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales. El Pozo San Pedro 2 supera levemente el umbral de pH, mientras que el Pozo 5 excede en sulfato y molibdeno.
- Todas las muestras de isótopos de la molécula de agua se agrupan cerca de la línea meteórica mundial y local, indicando un origen meteórico directo. Además, la presencia de isótopos livianos sugiere que la recarga se genera en la zona alta de la cuenca.
- La mayoría de las muestras de isotopos de sulfato presentan una firma isotópica compatible con depositación atmosférica, posiblemente vinculada con la actividad volcánica en las zonas altas de la cuenca.
- Los niveles de agua subterránea presentan variaciones locales, influenciadas por la extracción, recarga y la conexión con cuerpos de agua superficiales, lo que evidencia la dinámica del flujo subterráneo en la zona.
- Se construye un mapa piezométrico utilizando las mediciones de nivel realizadas en la campaña de terreno y se complementa con información recopilada de expedientes de pozos con derechos de agua otorgados por la DGA.
- El mapa piezométrico nos permite identificar direcciones de flujo principales de las aguas subterráneas provenientes del noreste al suroeste.
- A partir de los antecedentes recopilados en el sector del Ayllú de Solor se propone la ubicación de un nuevo pozo de bombeo que permita abastecer a la comunidad de agua. Este pozo debiera ser perforado a una profundidad de 80 m, para obtener caudales de entre 5 y 7 l/s y debiera contar con una planta de tratamiento para disminuir las concentraciones de Cl y As principalmente. El diseño de la planta debiera ser definido una vez perforado el pozo.

5 REFERENCIAS

- Amphos 21, 2021. Modelo Hidrogeológico de la Cuenca del Salar de Atacama. Informe Modelo Hidrogeológico Conceptual y Numérico.
- Becerra, J., Henríquez, S., Arriagada, C., 2014. Geología del área Salar de Atacama, Región de Antofagasta. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica 166, 1 mapa escala 1:100.000.
- Díaz del Río, G., Bonilla, R., Peralta, F., 1972. Geología de superficie, sub-superficie y geoquímica del Salar de Atacama. Departamento de recursos hidráulicos. CORFO. Marzo, 1972.
- Henríquez, S.1; Becerra, J.1; Arriagada, C.1. 2014. Geología del Área San Pedro de Atacama, Región de Antofagasta. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica 171. 1 mapa escala 1:100.000. Santiago.



6 ANEXOS

6.1 Estratigrafía San Pedro N°2

Tabla 6-1: Descripción estratigráfica Sondaje San Pedro N°2

Pozo N°194 San Pedro N°2			
Litología	Potencia	De	Hasta
Capitas sucesivas de arena, limo en polvo, arcillita y ripio con bolones	3,50	0,00	3,50
Ripio con arena	5,50	3,50	9,00
Conglomerado de ripio, arcilla y arena	12,70	9,00	21,70
Ripio chico con arena – Napa	3,00	21,70	24,70
Conglomerado de ripio, arcilla y arena	10,30	24,70	35,00
Ripio chico con arena – Napa	2,00	35,00	37,00
Conglomerado	33,00	37,00	70,00
Arcilla	3,00	70,00	73,00
Conglomerado	17,00	73,00	90,00
Arcillita arenosa	6,00	90,00	96,00
Arenisca	27,00	96,00	123,00
Ceniza volcánica	89,00	123,00	212,00
Arcilla compacta	42,00	212,00	254,00
Arena y ripio fino – Napa	9,00	254,00	259,00
Arcilla	5,00	259,00	264,00

Fuente: Díaz del Río, Bonilla Parra & Peralta Toro, 1972

6.2 Estratigrafía San Pedro N°5

Tabla 6-2: Descripción estratigráfica Sondaje San Pedro N°5

Pozo N°260 San Pedro N°5			
Litología	Potencia	De	Hasta
Arcillita arenosa	0,50	0,00	0,50
Arena	0,60	0,50	1,10
Arenisca con ceniza volcánica	0,70	1,10	1,80
Arena	0,45	1,80	2,25
Arenisca	0,60	2,25	2,85
Ceniza volcánica	1,15	2,85	4,00
Arena con ripio	4,00	4,00	8,00
Arenisca con ceniza volcánica	1,55	8,00	9,55
Arena, ripio y poca arcilla – Filtración de agua	5,75	9,55	15,30
Arcilla con ceniza volcánica	1,70	15,30	17,00
Arcillita arenosa	1,50	17,00	18,50
Arenisca	0,80	18,50	19,30
Ceniza volcánica	12,17	19,30	31,47
Arena y ripio – Napa	13,13	31,47	44,60
Arenisca con ceniza volcánica	8,40	44,60	53,00



Conglomerado de material chico	5,65	53,00	58,65
Arcilla con ceniza volcánica	1,45	58,65	60,10
Ceniza volcánica	2,60	60,10	62,70
Arenisca	2,15	62,70	64,83
Bolones y ripio	2,15	64,83	67,00
Arenisca	14,30	67,00	81,30
Conglomerado de material chico	2,00	81,30	83,30
Arenisca muy poco cementada	13,70	83,30	97,00
Arenisca con capitas de ceniza volcánica	12,00	97,00	109,00
Areniscas muy poco cementadas	33,00	109,00	142,00
Ceniza volcánica	7,20	142,00	149,20
Arenisca	2,80	149,20	152,00
Ceniza volcánica	2,00	152,00	154,00
Arenisca	2,00	154,00	156,00
Arenisca de granos gruesos, con arcilla	5,00	156,00	161,00
Ceniza volcánica	76,50	161,00	237,50
Arcilla compacta con estratificaciones de ceniza volcánica y arenas liparíticas	56,95	237,50	294,45
Arena y ripio fino – Napa	3,18	294,45	297,63
Arenisca con poca arcilla	0,77	297,63	298,40
Liparita	5,10	298,40	303,50

Fuente: Díaz del Río, Bonilla Parra & Peralta Toro, 1972



6.3 Composiciones químicas históricas pozos SP-3 y SP-5

Ubicación	Fecha	sólidos totales	Ca	Mg	Na	K	Al	Li	SiO ₂	HCO ₃	CO ₃	SO ₄	Cl	NO ₃	B	Dureza		
																Total	No Carbonat.	pH
R. Gr. Pedro, frente Pucará	4.10.67	3.575	341	60	800	25	0,03	0,3	65	227	0	910	1.260	0,4	2,5	1.100	914	7,58
Pozo # 3 S.P.	25.10.67	2.218	149	45	520	56	0,37	4,7	90	264	0	260	940	1,6	21	554	338	8,10
Pozo # 5 S.P.	25.10.67	2.693	174	50	650	72	0,32	6,0	101	301	0	280	1.180	4,2	27	640	393	8,08

