

Nota Técnica N°08: Medición de evaporación y monitoreo hidroquímico

Campaña N°7 de monitoreo trimestral (Abril 2025)

28-08-2025

Versión 0

A21_1115_NT08_v0

1 Introducción

Codelco División Salvador (DSAL) adjudicó a Amphos 21, en septiembre de 2022, el servicio denominado “Medida H-04: Investigación sobre Nuevas Fuentes de Agua en Cuencas de Salares La Isla, Aguilar, Gorbea y Las Parinas”, el cual se enmarca en los diferentes compromisos establecidos en el Avenimiento con el Consejo de Defensa del Estado (CDE) en el proceso Rol D-7-2020 del Primer Tribunal Ambiental de Antofagasta y que, como objetivo principal, debe generar información básica y pública de carácter hidrogeológico en las cuencas de los salares indicados.

Como parte de las actividades del servicio anteriormente mencionado, se considera una campaña de terreno trimestral para la medición de evapotranspiración y calidad de agua, así como también una campaña semestral para la medición de la meteorología y, por último, una campaña anual para la medición de isotopía, con el objetivo de medir de forma periódica parámetros de interés para el análisis de los sistemas acuíferos de las cuencas de los salares en estudio.

En la presente nota técnica se describen las actividades realizadas durante la séptima campaña de terreno, que se llevó a cabo durante el mes de abril de 2025, la cual consiste en el levantamiento de información a través de un monitoreo hidroquímico e isotópico y medición de evaporación con domos, distribuidos en las cuencas de los salares de La Isla, Aguilar, Gorbea y Las Parinas.

1.1 Objetivo

El objetivo general del proyecto (Medida H-04) consiste en la realización de un estudio que permita generar información básica para lograr un entendimiento hidrogeológico de los sistemas de las cuencas de los salares de La Isla, Aguilar, Gorbea y Las Parinas.

El objetivo específico de la presente nota técnica corresponde a la presentación de los resultados de la medición de evaporación con domos y del monitoreo hidroquímico e isotópico ¹ correspondiente a la séptima de las campañas trimestrales comprometidas (Campaña N°7).

1.2 Ubicación área de estudio

El área de estudio se enmarca en las cuencas de los salares de La Isla, Aguilar, Gorbea y Las Parinas, ubicados en el extremo noreste de la Alta Cordillera de la Región de Atacama, en el límite con la Región de Antofagasta (oeste), y con la frontera de Argentina (este), a alturas geográficas variables cuyos depocentros se ubican entre los 3.325 y 3.985 m s.n.m., aproximadamente. En la Figura 1-1 se ilustra la ubicación de las cuencas en estudio.

¹ Cabe mencionar que se realizó el muestreo isotópico en 3 puntos pendientes de la campaña anterior.

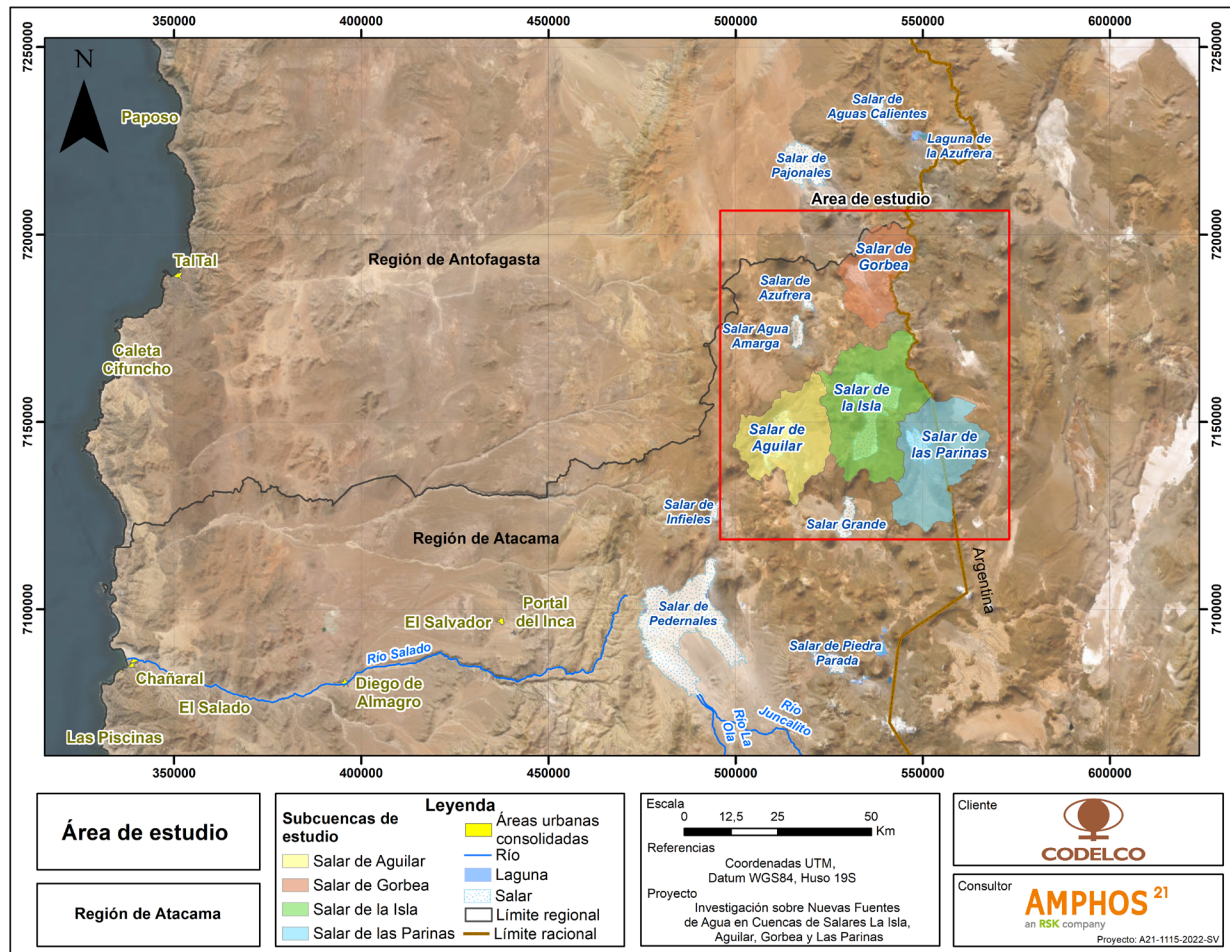


Figura 1-1: Ubicación geográfica salares La Isla, Aguilar, Gorbea y Las Parinas.

2 Metodología

2.1 Medición de evaporación con domos

La metodología utilizada por Amphos 21 para la medición de evaporación con domos consiste en registrar el incremento de vapor de agua en el interior del domo durante el tiempo necesario para lograr su estabilización. Para tener un registro del comportamiento diario de la evaporación en zonas áridas, las mediciones deben realizarse, idealmente, desde la salida del sol hasta poco después del ocaso. Los principales aspectos de la metodología son los siguientes:

- Medir humedad relativa y temperatura, en la medida de lo posible, desde la salida hasta la puesta del sol, de modo de registrar todo el intervalo diario durante el cual la napa evapora.
- Idealmente, realizar mediciones cada 30 minutos, evitando vacíos de registros mayores a 1 hora. La frecuencia de medición depende de las condiciones meteorológicas existentes en el lugar. Si estas no presentan cambios bruscos, el intervalo debe ser a lo sumo de una hora durante las horas de luz.
- Para evitar el ingreso de aire hacia el interior del domo, la superficie del terreno debe aplanarse y rellenarse con arena u otro material en el contorno donde se instalará la cúpula. Adicionalmente, puede instalarse una tela impermeable a lo largo del perímetro de la cúpula (faldón).
- Antes de la medición, ventilar el domo al menos por un minuto, levantándolo verticalmente a un metro del suelo. Prender ventiladores a una velocidad análoga a la del viento en el exterior (utilizando anemómetro ubicado a una altura de 1,5 veces el alto de la cúpula de acrílico y reguladores de voltaje), y chequear estabilidad de la temperatura y de la humedad relativa en el sensor. La velocidad de viento mínima en el interior de la cúpula debe ser cercana a 0,8 m/s y tiene como objetivo homogeneizar la mezcla de aire, evitando la generación de estratificaciones con diferente contenido de humedad.
- Una vez que está todo listo para medir, bajar rápidamente el domo y aprisionar sus bordes con la funda o faldón (ésta queda fija en su posición durante todo el día, enterrando algunos de sus bordes, lo cual se hace generalmente después de la primera medición). Es de suma importancia considerar durante las mediciones el aislamiento del volumen de control, evitando que entre aire desde el exterior.
- Comenzar la medición inmediatamente al bajar el domo, así como el encendido del cronómetro. Cada medición debe durar al menos 2 minutos, y el sensor debe ser programado para registrar la humedad relativa y temperatura cada 1 segundo.
- Se registra sistemáticamente cualquier observación pertinente (hora y evento), como cambios del viento, cambios de nubosidad, errores detectados, coordenadas del punto, etc.

2.2 Toma de muestras de agua para análisis hidroquímico e isotópico

En cuanto a la metodología utilizada por Amphos 21 para tomar muestras de agua, esta se basa principalmente en los procedimientos normativos vigentes, que establecen los requerimientos mínimos que se deben cumplir para la obtención de muestras representativas de agua para realizar análisis en laboratorio y/o para análisis en campo (in situ), lo cual representa un marco de referencia general para este tipo de trabajos.

Para obtener una muestra representativa de agua superficial, se procede con la siguiente metodología de muestreo:

- Se utiliza un jarro de acrílico para sacar un volumen de agua de al menos 1 litro desde el cuerpo de agua que se requiere muestrear.
- Posteriormente, se utiliza un contenedor limpio y lo suficientemente grande, el cual es ambientado por medio de enjuagues, donde se vacía el agua obtenida anteriormente. Una vez lleno el contenedor, se registra en una cadena de custodia los parámetros fisicoquímicos in situ (Temperatura, pH y Conductividad Eléctrica) y se deja homogenizar la muestra unos 5 minutos para, posteriormente, distribuir en los envases del set de muestreo.

En el caso de una muestra representativa de agua subterránea, se procede con la siguiente metodología de muestreo:

- La muestra se recoge mediante un bailer, el cual previamente debe ser enjuagado con agua desmineralizada. Por medio de una cuerda o piola se descende el bailer hasta alcanzar el nivel de agua que lo cubra completamente. El bailer debe sumergirse por lo menos 2 metros bajo el nivel de agua estático de pozo y posteriormente se extrae de manera manual. Luego, se procede a vaciar la muestra a un contenedor limpio (ambientado por medio de enjuagues), registrando la cadena de custodia de parámetros fisicoquímicos in situ, y se deja homogeneizar la muestra, para luego distribuir en envases de muestreo, como fue indicado anteriormente.

Para el análisis isotópico de la molécula de agua, se recolecta un volumen de agua suficiente en un envase (60 ml), para posteriormente, pasarlo por un proceso de filtrado a través de un filtro de 0,45 micras con contratapa y tapa, teniendo en consideración no dejar ninguna burbuja de aire en el interior del envase.

Las muestras de agua para el análisis hidroquímico fueron enviadas al laboratorio SGS Chile, mientras que las muestras isotópicas se enviaron al laboratorio IT2 Isotope Tracer Technologies.

3 Campaña de terreno

Durante la planificación de la campaña de terreno se proponen 26 puntos de monitoreo hidroquímico, de los cuales 5 puntos se localizan en el salar de Gorbea, 7 puntos en el salar de La Isla, 7 puntos en el salar de Las Parinas y 7 puntos en el salar de Aguilar.

Dentro de los 26 puntos propuestos anteriormente, cada sector presenta un punto *back up* (GOR-BackUp, ISL-BackUp, PAR-BackUp y AGI-BackUp), los cuales corresponden a puntos de respaldo, en el caso de que alguno de los puntos restantes presentara dificultad de acceso.

En la Figura 3-1 se ilustra la distribución espacial de los puntos propuestos para realizar el monitoreo hidroquímico en terreno. Es importante considerar que las coordenadas planteadas son aproximadas, dado que las condiciones de los salares pueden variar dependiendo de la estación del año. Además, se priorizará tomar muestras de agua subterránea, para una mayor representatividad de estas en el sector.

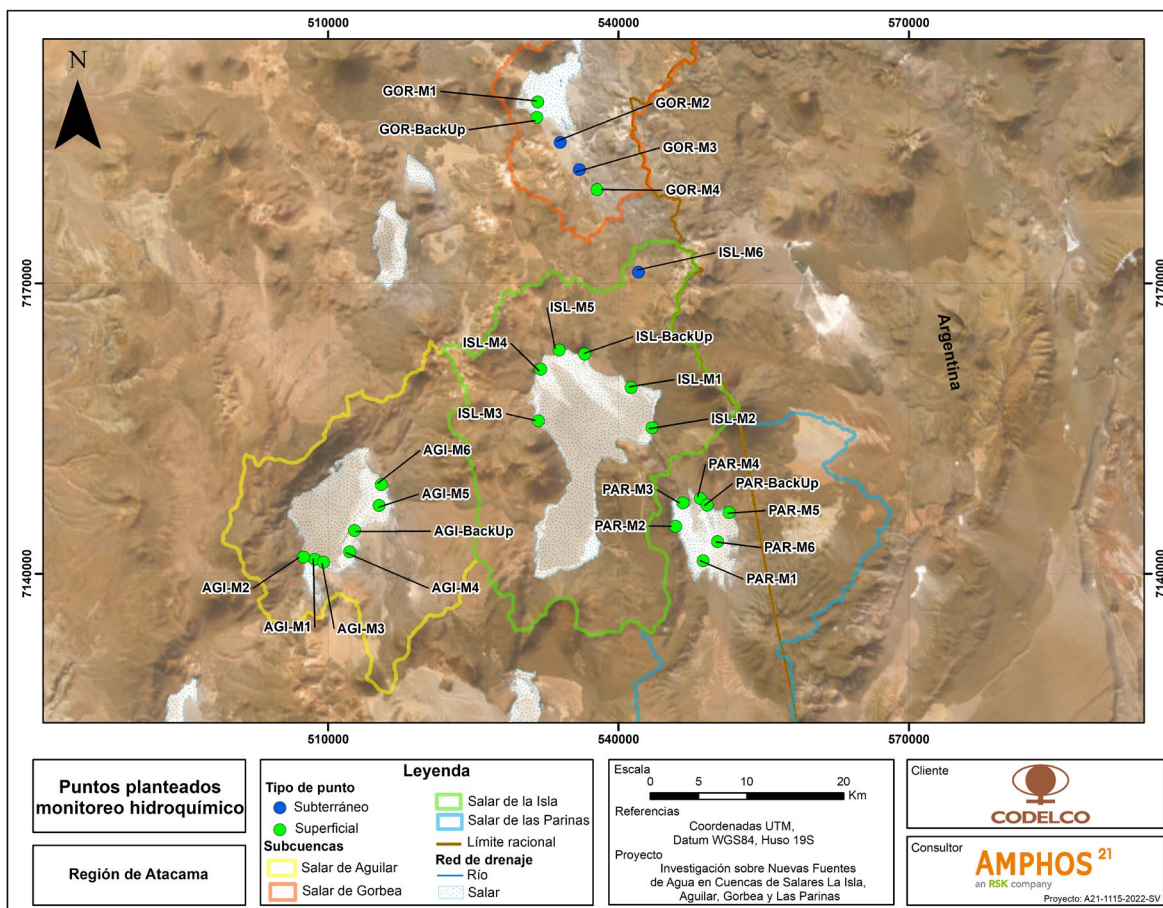


Figura 3-1: Ubicación de puntos planteados para el monitoreo hidroquímico.

La séptima campaña de terreno se desarrolló entre los días 21 y 29 de abril de 2025 por personal de Amphos 21, contemplando un turno de 10x10, el cual se encuentra integrado por 5 personas, dos camionetas 4x4 (traslado y apoyo), una casa rodante para pernoctar, equipos de toma de muestras hidroquímicas e isotópicas, y cuatro domos para medir la evaporación.

En total se realizaron 20 ensayos de evaporación con domos (5 ensayos en cada cuenca) y, además, se llevó a cabo el monitoreo de parámetros fisicoquímicos in situ, análisis hidroquímico en 22 puntos y análisis isotópico en 3 puntos, estos últimos correspondientes a muestreos pendientes de la campaña anterior (campaña N°6).

Cabe mencionar que el total de muestras hidroquímicas analizadas corresponden a 26, teniendo en cuenta 3 duplicados y un blanco como control de calidad. Asimismo, las muestras isotópicas analizadas corresponden en total a 2, dado que no fue posible muestrear uno de los puntos originalmente programados por la presencia de flamencos en el sector.

3.1 Actividades de terreno

De forma específica y detallada, durante la séptima campaña de terreno se realizaron las siguientes actividades:

En el salar de Gorbea se visitaron 10 puntos, donde se realizaron 5 ensayos de evaporación con domo, se tomaron 4 muestras para análisis hidroquímico y 1 muestra para análisis isotópico. Adicionalmente se tomó 1 muestra duplicada en uno de los puntos de monitoreo hidroquímico

En el salar de Aguilar, se visitaron 11 puntos, donde se realizaron 5 ensayos de evaporación con domo y se tomaron 6 muestras para análisis hidroquímico.

Por su parte, en el salar de La Isla se visitaron 12 puntos, donde se realizaron 5 ensayos de evaporación con domo, se tomaron 6 muestras para análisis hidroquímico y 1 muestra para análisis isotópico, además de un duplicado y una muestra blanco destinadas únicamente a análisis hidroquímico.

Finalmente, en el salar de Las Parinas se visitaron 12 puntos, donde se realizaron 5 ensayos de evaporación con domo y se tomaron 6 muestras para análisis hidroquímico, más 1 muestra duplicada para análisis hidroquímico. Además, se visitó 1 punto para análisis isotópico, sin embargo, la muestra no pudo ser tomada debido a la presencia de flamencos en el sector.

La Figura 3-2 ilustra la ubicación espacial de los puntos monitoreados durante la Campaña N°7.

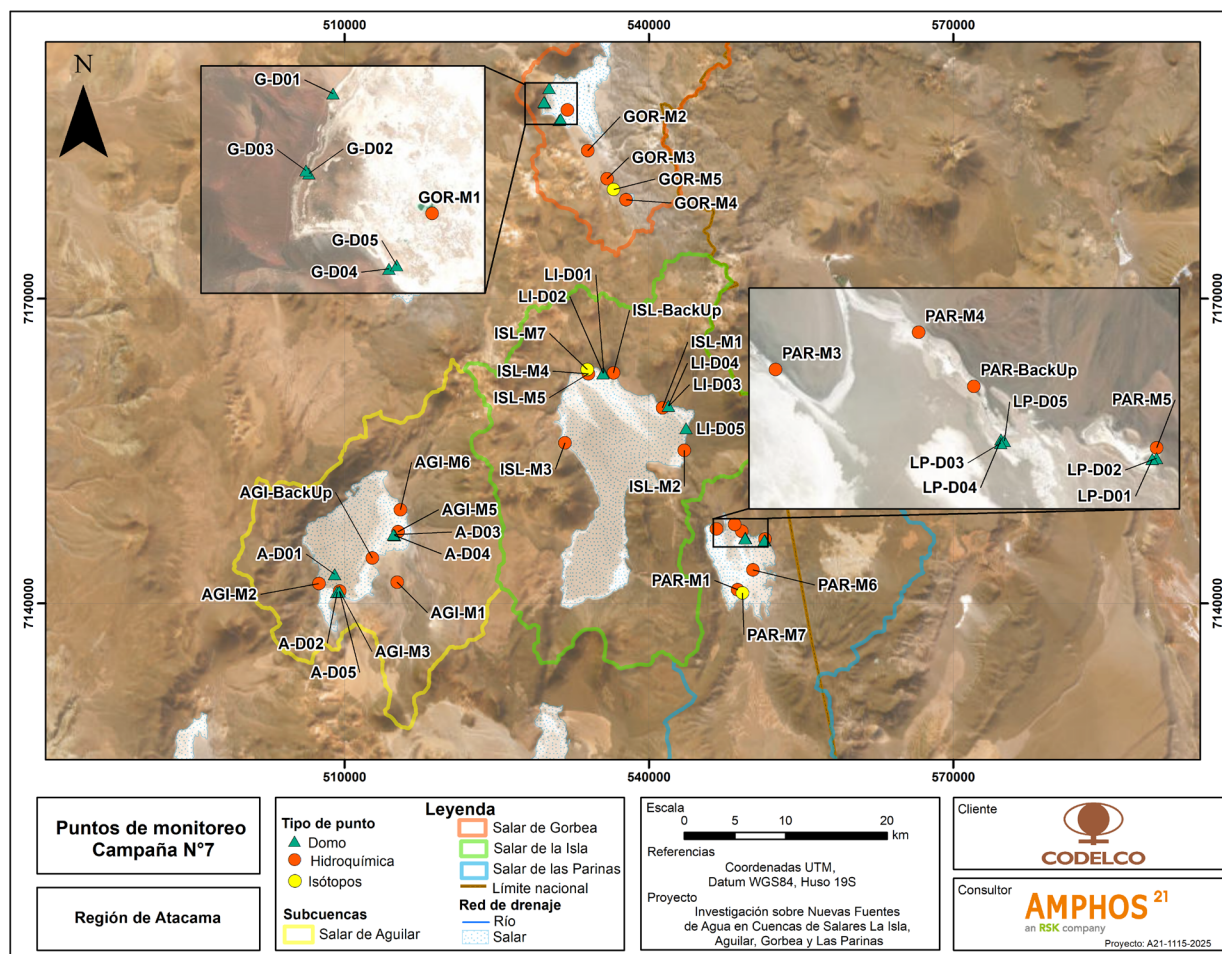


Figura 3-2: Distribución espacial de los puntos monitoreados durante la séptima campaña de terreno.

De acuerdo con lo mencionado anteriormente, a continuación, se presenta el detalle de las actividades realizadas diariamente:

- **21 de abril:** se realiza el traslado de equipos de trabajo y personal de Amphos 21 desde Santiago hacia Copiapó y luego, durante la tarde, se realiza el traslado hacia la casa rodante en el salar de La Isla.
- **22 de abril:** se inician los trabajos con el muestreo hidroquímico superficial en el salar de La Isla, donde se visitan 6 puntos de muestreo de agua. En cada punto se recolectó una muestra de agua (ISL-M1, ISL-M2, ISL-M3, ISL-M4, ISL-M5 y ISL-BACK UP) y, adicionalmente, en el punto ISL-BACK UP se toma una muestra duplicada destinada al análisis hidroquímico (ISL-MD3). En la Figura 3-3 se muestra el monitoreo hidroquímico realizado en puntos superficiales.

En cuanto a los parámetros fisicoquímicos in situ, los puntos ISL-M1, ISL-M2 y ISL-M3 registran valores de conductividad entre 114.300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 227.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, mientras que los puntos ISL-M4, ISL-M5 y ISL-BACKUP (localizados en el norte del salar) presentan valores de conductividad entre 10.540 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 26.110 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En cuanto al pH, las muestras del salar de La Isla presentan valores de 6,81 (ISL-M3) a 8,28 (ISL-M5).



Figura 3-3: Monitoreo hidroquímico en puntos de agua superficial (ISL-M3 e ISL-M4) del salar de La Isla.

Posteriormente, se visita el salar de Aguilar para el muestreo de aguas en 4 puntos de monitoreo (AGI-M2, AGI-M3, AGI-M5 y AGI-M6), tomando una muestra en cada punto.

Respecto a los parámetros fisicoquímicos, se registran valores de conductividad entre los 183.800 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 216.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en los puntos AGI-M2, AGI-M3 y AGI-M5, mientras que el punto AGI-M6 presenta una conductividad de 45.520 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Por otra parte, los valores de pH van desde los 5,54 (AGI-M2) hasta los 7,92 (AGI-M6).

- **23 de abril:** Se inician los trabajos en el salar de Gorbea, donde se visitan 4 puntos de muestreo de agua (superficial y subterránea) para medir parámetros fisicoquímicos in situ y realizar posteriormente su muestreo hidroquímico. En cada punto se recolectó una muestra de agua (GOR-M1, GOR-M2, GOR-M3 y GOR-M4) y, adicionalmente, en el punto GOR-M1 se toma una muestra duplicada destinada al análisis hidroquímico (GOR-MD1). Por otra parte, se toma la muestra GOR-M5 exclusivamente para análisis isotópico.

Además, en el transcurso del mismo día se visita el salar de La Isla para tomar la muestra de agua para análisis hidroquímico faltante del día anterior en el punto ISL-M5.

Respecto a los parámetros fisicoquímicos in situ, se registra en el salar de Gorbea una conductividad de 143.300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en el punto GOR-M1 (localizado en el norte del salar), mientras que en los puntos GOR-M2, GOR-M3 y GOR-M4 se registran conductividades en torno a 3.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Por otra parte, los valores de pH se encuentran en un rango de 4,1 a 4,6, con excepción del punto GOR-M1, que presenta un valor de 1,4. En cuanto al punto ISL-M5, se registra una conductividad de 26.110 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y un pH de 8,28.

En la Figura 3-4 se muestra el monitoreo hidroquímico realizado en un punto superficial y uno subterráneo.



Figura 3-4: Monitoreo hidroquímico en punto de agua superficial y subterránea (GOR-M1 y GOR-M2) del salar de Gorbea.

Posteriormente, se realiza el traslado hacia el salar de Las Parinas desde el salar de Gorbea, donde se visitan 6 puntos de muestreo de agua para análisis hidroquímico. En cada punto se recolectó una muestra de agua (PAR-M1, PAR-M3, PAR-M4, PAR-M5, PAR-M6 y PAR-BACKUP) y, en el punto PAR-M6 se toma una muestra duplicada destinada al análisis hidroquímico (PAR-MD2). Adicionalmente a los 6 puntos mencionados, se visita un punto para tomar una muestra exclusivamente para análisis isotópico (PAR-M7), la cual no pudo ser tomada, debido a que en el sector había una gran cantidad de flamencos (ver Figura 3-5).



Figura 3-5: Presencia de flamencos en el punto de muestreo para análisis isotópico (PAR-M7) en el salar de Las Parinas.

En cuanto a los parámetros fisicoquímicos in situ, se registran valores de conductividad entre los 180.300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 228.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en los puntos PAR-BACKUP, PAR-M3, PAR-M4 y PAR-M5 mientras que en los puntos PAR-M1 y PAR-M6 se observan valores en el rango entre 20.000 a 60.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ aproximadamente. Por otra parte, los valores de pH van desde los 7,32 (PAR-M4) hasta los 9,26 (PAR-M6).

- **24 de abril:** se inician los trabajos en el salar de La Isla, donde se realizan 5 ensayos de evaporación con domos en los puntos LI-D01, LI-D02, LI-D03, LI-D04 y LI-D05. Los ensayos comenzaron en torno a las 9:30 h y finalizaron en torno a las 17:00 h. Además, se toma la muestra para análisis isotópico faltante en el punto ISL-M7.

Los puntos LI-D01 y LI-D02 se encuentran separados por una distancia de 80 m y el suelo se caracteriza por presentar una costra blanda, compuesta por una mezcla de halita, yeso y arena. En ambos puntos se registra el nivel freático desde el canal del salar, encontrándose a una profundidad de 16 cm en LI-D01 y en LI-D02. Alrededor de las 16:30 h se registra una velocidad de viento máxima de alrededor de 34 km/h en ambos puntos. En cuanto a la temperatura máxima alcanzada, los puntos registran valores de 34°C, en torno a las 16:30 h.

Los puntos LI-D03 y LI-D04 se distancian 15 m entre sí. El punto LI-D03 se posiciona sobre un terreno de evaporita delgada con una continua capa de arena fina. Por su parte, el punto LI-D04 se posiciona sobre evaporita mezclada con sedimentos. En ambos puntos

se registra el nivel freático a los 2 cm desde una laguna cercana. Respecto a los datos obtenidos durante el ensayo en ambos domos, se identifica que la temperatura máxima se alcanza alrededor de las 11:50 h. con un valor en torno a los 25°C, mientras que la velocidad del viento alcanza máximos de 36,3 y 34,8 km/h en LI-D03 y LI-D04, respectivamente.

Finalmente, el domo del punto LI-D05 se instala sobre suelo cubierto principalmente por evaporita, debajo de la evaporita se observa arcilla plástica con presencia de arena. Además, se registra un nivel freático a los 3 cm observado en terreno. En cuanto a las mediciones en el domo, se registran velocidades de viento con un valor máximo de 34,7 km/h a las 16:30 h, además de temperaturas máximas de 25,5 °C a las 11:30 h. La Figura 3-6 muestra el ensayo de evaporación realizado en el punto LI-D05.



Figura 3-6: Ensayo de evaporación en domo del punto LI-D05, ubicado en el salar de La Isla.

- **25 de abril:** se realizan actividades en el salar de Gorbea, con ensayos de evaporación en los puntos G-D01, G-D02, G-D03, G-D04 y G-D05. Las pruebas se llevaron a cabo entre las 9:30 h y las 17:00 h, aproximadamente.

El punto G-D01 se posiciona sobre una delgada capa de evaporitas con yeso, que sobreyacen a arcillas con arena y registra un nivel freático a los 34 cm. Durante el ensayo, el domo recibe radiación directa con nulo porcentaje de nubosidad, además, el viento

alcanza un valor máximo de 33,1 km/h a las 13:40 h, mientras que la temperatura alcanza un máximo de 20,6°C a las 11:40 h.

Por su parte, los puntos G-D02 y G-D03 se posicionan sobre una costra salina mezclada con sedimento. En ambos puntos el nivel freático es registrado a los 33 cm. Se registra una temperatura máxima de 21,1°C en G-D02 y de 20,2°C en G-D03, ambos puntos presentan nula nubosidad durante el ensayo. Además, en los puntos G-D02 y G-D03 se alcanza una velocidad máxima de viento en torno a 30 - 31 km/h. La Figura 3-7 muestra el ensayo de evaporación realizado en el punto G-D03.

En cuanto a los puntos G-D05 y G-D04, ubicados a 170 m de distancia entre ellos, se posicionan sobre evaporita delgada mezclada con yeso, sedimento, ceniza volcánica y arena. El nivel freático se encuentra a los 70 cm, observado en una laguna al costado de ambos puntos. Respecto a la temperatura, ambos puntos registran un valor máximo en torno a 20 - 21°C alrededor de las 12:30 h y una velocidad del viento máxima de 34 km/h a las 14:30 h. Los domos reciben radiación directa durante todo el ensayo.



Figura 3-7: Ensayo de evaporación en domo del punto G-D03, ubicado en el salar de Gorbea.

- **26 de abril:** se efectúan 5 ensayos de evaporación con domos en el salar de Las Parinas (LP-D01, LP-D02, LP-D03, LP-D04 y LP-D05). Los ensayos se tomaron entre las 10:00 h y las 14:20 h, aproximadamente, debido a las fuertes ráfagas de viento que impidieron continuar con el ensayo.

En particular, los puntos LP-D01 y LP-D02 se distancian 60 m aproximadamente entre sí, y se ubican sobre un terreno cubierto por costra salina delgada seguida de material sedimentario y con humedad en la superficie. En el punto LP-D01 se registra un nivel freático a 2 cm, mientras que en el punto LP-D02 se registra un nivel de 20 cm, ambos inferidos a partir de afloramientos de agua cercanos al sector. La velocidad del viento alcanza un valor máximo de 51,6 y 49,8 km/h por la tarde en LP-D01 y LP-D02, respectivamente. Por otra parte, ambos puntos registran una temperatura máxima en torno a los 20°C alrededor de las 11:00 h. Durante el ensayo se presenta una nula nubosidad, haciendo que los domos reciban radiación directa.

Adicionalmente, los puntos LP-D03 y LP-D04, separados por 15 m entre sí, se posicionan sobre evaporitas mezcladas con sedimentos, mientras que el punto LP-D05 se posiciona sobre un terreno compuesto por evaporitas, arcillas y presencia de arenas. En dichos puntos se registra el nivel freático a los 20 cm tomados desde una laguna cercana. En cuanto a los resultados obtenidos del ensayo, se registra una velocidad de viento máxima de 56,5, 51,3 y 52,4 km/h en los puntos LP-D03, LP-D04 y LP-D05, respectivamente y, además, se observa una temperatura máxima en torno a 21°C, con un nulo porcentaje de nubosidad. La Figura 3-8 muestra el ensayo de evaporación realizado en el punto LP-D03.



Figura 3-8: Ensayo de evaporación en domo del punto LP-D03, ubicado en el salar de Las Parinas.

- **27 de abril:** se efectúan los ensayos de evaporación en el salar de Aguilar, en los puntos A-D01, A-D02, A-D03, A-D04 y A-D05. Las pruebas se llevaron a cabo entre las 10:15 h y las 17:40 h.

El punto A-D01 se posiciona sobre una capa de evaporitas con yeso, que sobreyacen a arcillas con arenas y presenta un nivel freático de 35 cm. Durante el ensayo se registran vientos de hasta 27,1 km/h y temperaturas en torno a 22°C sin nubosidad.

Por su parte, los puntos A-D03 y A-D04, se posicionan sobre una costra salina blanda con sedimentos y yeso, donde A-D03 presenta un nivel freático de 12 cm y A-D04 un nivel de 7 cm, ambos medidos de una laguna cercana. En cuanto a los resultados del ensayo, ambos puntos presentan una velocidad máxima en torno a 24 - 29 km/h y escasa nubosidad. Respecto a la temperatura, el punto A-D03 presenta un valor máximo de 23,3°C a las 11:20 h, mientras que el punto A-D04 un valor de 24,7°C a las 16:10 h. En la Figura 3-9 se puede observar el ensayo de evaporación con domos en el punto A-D03.

En cuanto a los puntos A-D02 y A-D05, estos se posicionan sobre una costra salina de evaporitas de alta dureza y registran un nivel freático de 25 cm y 20 cm, respectivamente. El ensayo realizado en el punto A-D05 tiene como resultado una velocidad y temperatura máxima de 23,6 km/h y 23,6°C, mientras que el punto A-D02 registra valores de 25,4 km/h y 23,1°C, respectivamente.



Figura 3-9: Ensayo de evaporación en domo del punto A-D03, ubicado en el salar de Aguilar.

- **28 de abril:** se realiza el traslado hacia el salar de Aguilar para el muestreo de aguas en 2 puntos de monitoreo (AGI-BACKUP y AGI-M1), tomando una muestra en cada punto.

Respecto a los parámetros fisicoquímicos tomados, se registran valores de conductividad de los 175.300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en el punto AGI-BACKUP y de 3.276 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en el punto AGI-M1. Por otra parte, los valores de pH son de 6,95 (AGI-BACKUP) y de 5,54 (AGI-M1).

En la Figura 3-10 se muestra el monitoreo hidroquímico superficial realizado en el punto AGI-BACKUP.

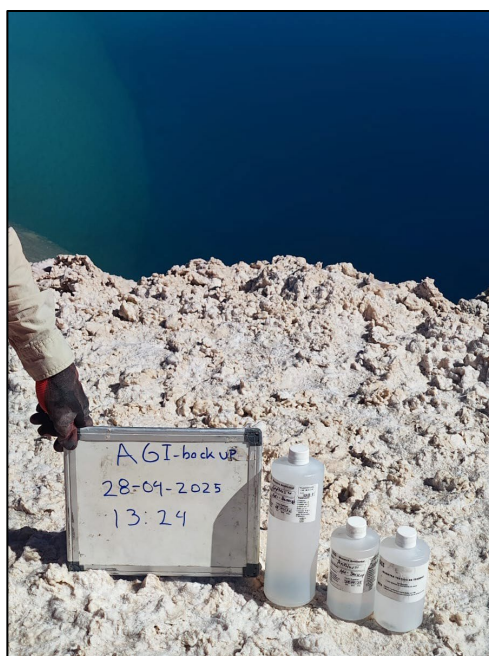


Figura 3-10: Monitoreo hidroquímico en punto de agua superficial (AGI-BACKUP) del salar de Aguilar.

- **29 - 30 de abril:** se realizan trabajos de gabinete revisando la información levantada durante la campaña con el llenado de fichas técnicas de los domos y el muestreo hidroquímico. Se ordenan y empaquetan equipos y muestras de hidroquímica, se elabora guía de despacho y se envían al laboratorio. Luego, personal de Amphos 21 se traslada a su lugar de residencia, dando por finalizada la séptima campaña de monitoreo hidroquímico y medición de evaporación.

A modo de resumen, en la Tabla 3-1, se presentan las principales características y fechas de medición de los puntos monitoreados durante la Campaña N°7. Además, en el Anexo A se presentan las fichas técnicas de los puntos donde se realizó medición de evaporación, y en el Anexo B se presentan las fichas técnicas correspondientes a los puntos de monitoreo hidroquímico e isotópico.

Tabla 3-1: Características de puntos monitoreados durante la séptima campaña de terreno.

Punto	Sector	Medición	Tipo de punto	Este WGS84	Norte WGS84	Fecha medición
A-D01	Salar de Aguilar	Domo	-	509.016	7.142.868	27-04-2025
A-D02	Salar de Aguilar	Domo	-	509.249	7.141.110	27-04-2025
A-D03	Salar de Aguilar	Domo	-	514.834	7.146.743	27-04-2025
A-D04	Salar de Aguilar	Domo	-	514.929	7.146.680	27-04-2025
A-D05	Salar de Aguilar	Domo	-	509.483	7.141.162	27-04-2025
G-D01	Salar de Gorbea	Domo	-	530.166	7.190.732	25-04-2025
G-D02	Salar de Gorbea	Domo	-	529.730	7.189.292	25-04-2025
G-D03	Salar de Gorbea	Domo	-	529.675	7.189.345	25-04-2025
G-D04	Salar de Gorbea	Domo	-	531.173	7.187.576	25-04-2025
G-D05	Salar de Gorbea	Domo	-	531.315	7.187.639	25-04-2025
LI-D01	Salar de la Isla	Domo	-	535.523	7.162.704	24-04-2025
LI-D02	Salar de la Isla	Domo	-	535.477	7.162.629	24-04-2025
LI-D03	Salar de la Isla	Domo	-	541.927	7.159.417	24-04-2025
LI-D04	Salar de la Isla	Domo	-	541.922	7.159.432	24-04-2025
LI-D05	Salar de la Isla	Domo	-	543.661	7.157.234	24-04-2025
LP-D01	Salar de las Parinas	Domo	-	551.376	7.146.185	26-04-2025
LP-D02	Salar de las Parinas	Domo	-	551.430	7.146.196	26-04-2025
LP-D03	Salar de las Parinas	Domo	-	549.478	7.146.385	26-04-2025
LP-D04	Salar de las Parinas	Domo	-	549.481	7.146.430	26-04-2025
LP-D05	Salar de las Parinas	Domo	-	549.524	7.146.409	26-04-2025
AGI-BACKUP	Salar de Aguilar	HQ	Superficial	512.725	7.144.452	28-04-2025
AGI-M1	Salar de Aguilar	HQ	Subterráneo	515.182	7.142.080	28-04-2025
AGI-M2	Salar de Aguilar	HQ	Superficial	507.473	7.141.943	22-04-2025
AGI-M3	Salar de Aguilar	HQ	Superficial	509.519	7.141.191	22-04-2025
AGI-M5	Salar de Aguilar	HQ	Superficial	515.269	7.147.056	22-04-2025
AGI-M6	Salar de Aguilar	HQ	Superficial	515.495	7.149.195	22-04-2025
GOR-M1	Salar de Gorbea	HQ	Superficial	531.954	7.188.574	23-04-2025

Punto	Sector	Medición	Tipo de punto	Este WGS84	Norte WGS84	Fecha medición
GOR-M2	Salar de Gorbea	HQ	Subterráneo	533.967	7.184.571	23-04-2025
GOR-M3	Salar de Gorbea	HQ	Subterráneo	535.877	7.181.803	23-04-2025
GOR-M4	Salar de Gorbea	HQ	Superficial	537.748	7.179.727	23-04-2025
GOR-MD1	Salar de Gorbea	HQ	Superficial	531.954	7.188.574	23-04-2025
ISL-BACKUP	Salar de la Isla	HQ	Superficial	536.500	7.162.673	22-04-2025
ISL-M1	Salar de la Isla	HQ	Superficial	541.334	7.159.226	22-04-2025
ISL-M2	Salar de la Isla	HQ	Superficial	543.490	7.155.054	22-04-2025
ISL-M3	Salar de la Isla	HQ	Superficial	531.718	7.155.794	22-04-2025
ISL-M4	Salar de la Isla	HQ	Superficial	534.025	7.162.590	22-04-2025
ISL-M5	Salar de la Isla	HQ	Superficial	534.031	7.162.595	23-04-2025
ISL-MB4**	Salar de la Isla	HQ	-	-	-	22-04-2025
ISL-MD3	Salar de la Isla	HQ	Superficial	536.500	7.162.673	22-04-2025
PAR-BACKUP	Salar de las Parinas	HQ	Superficial	549.142	7.147.094	23-04-2025
PAR-M1	Salar de las Parinas	HQ	Superficial	548.746	7.141.327	23-04-2025
PAR-M3	Salar de las Parinas	HQ	Superficial	546.658	7.147.305	23-04-2025
PAR-M4	Salar de las Parinas	HQ	Superficial	548.449	7.147.771	23-04-2025
PAR-M5	Salar de las Parinas	HQ	Superficial	551.431	7.146.323	23-04-2025
PAR-M6	Salar de las Parinas	HQ	Superficial	550.248	7.143.300	23-04-2025
PAR-MD2	Salar de las Parinas	HQ	Superficial	550.248	7.143.300	23-04-2025
GOR-M5	Salar de Gorbea	Isótopos	Superficial	536.518	7.180.742	23-04-2025
ISL-M7	Salar de la Isla	Isótopos	Superficial	533.916	7.163.004	24-04-2025
PAR-M7*	Salar de las Parinas	Isótopos	Superficial	549.222	7.141.028	23-04-2025

(*) Punto sin muestra por presencia de flamencos en el sector.

(**) Muestra blanco.

4 Resultados de análisis hidroquímico e isotópico

Durante la séptima campaña de terreno se visitaron 22 puntos de monitoreo, logrando recolectar un total de 26 muestras de agua. Posteriormente, las muestras de agua fueron enviadas al laboratorio certificado SGS S.A. para el análisis hidroquímico de los macroelementos disueltos necesarios para calcular el error del balance iónico (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , CO_3^{2-} , NO_3^-), y el total de sólidos disueltos. Además, se analizaron elementos como Litio (Li^+) y Boro (B^{3+}), dado que son representativos de la zona de estudio, y que habitualmente se presentan en altas concentraciones en ambientes de salares, influyendo en los resultados del balance iónico.

Cabe señalar que, para el análisis hidroquímico, se consideraron dentro de las 26 muestras mencionadas, 3 duplicados, una en el salar de Gorbea (GOR-MD1), otra en el salar de Las Parinas (PAR-MD2) y una en el salar de La Isla (ISL-MD3), junto con una muestra blanco (ISL-MB4).

La Tabla 4-1 muestra los resultados de los cationes y aniones disueltos, además de los parámetros fisicoquímicos obtenidos en laboratorio correspondientes a las muestras de agua subterráneas y superficiales tomadas durante la séptima campaña de terreno.

Por su parte, en la Tabla 4-2 se muestran los resultados de los isótopos de la molécula del agua.

Tabla 4-1: Resultados del monitoreo hidroquímico correspondiente a la séptima campaña de terreno.

Punto	Alcalinidad (mg/l)	B ³⁺ (mg/l)	Ca ²⁺ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	CO ₃ ²⁻ (mg/l)	CE (uS/cm)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)	Li ⁺ (mg/l)	Mg ²⁺ (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	pH (upH)	SDT (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)
AGI-BACKUP	641,70	466,10	21805,46	113478,12	<0,2	167121	782,30	1537,03	193,76	2936,52	30810,01	333,88	7,10	155940	1000,47
AGI-M1	116,40	9,32	328,48	418,32	<0,2	2924	141,90	17,55	1,19	74,72	250,73	10,77	7,50	2184	1051,26
AGI-M2	552,90	695,70	50727,63	235534,52	<0,2	<200000	674,10	2638,13	403,18	6729,40	57238,18	608,85	5,80	375540	322,65
AGI-M3	719,10	802,00	55241,98	259930,41	<0,2	<200000	876,70	3104,57	468,51	7492,76	59792,61	488,95	5,90	383080	300,69
AGI-M5	389,00	406,33	26022,61	111968,30	<0,2	176962	474,20	1447,79	209,87	3437,53	29131,47	431,07	6,80	208340	786,68
AGI-M6	76,80	67,02	4139,04	18387,81	<0,2	41900	93,60	247,28	30,23	558,10	4635,22	45,82	7,70	31100	1890,62
AGI-MB4	3,90	<0,01	0,57	1,30	<0,2	12	4,80	0,15	<0,01	0,13	1,76	<0,01	7,00	8	0,16
GOR-M1	<0,2	1510,82	312,91	102654,82	<0,2	151434	<0,2	4526,23	302,22	24535,38	41607,34	<0,01	1,90	141800	63439,87
GOR-M2	<0,2	1,80	429,95	71,76	<0,2	2716	<0,2	17,33	0,21	35,14	93,75	<0,01	4,30	2064	1546,76
GOR-M3	<0,2	3,87	478,85	135,10	<0,2	3023	<0,2	37,45	0,32	89,55	198,71	<0,01	4,40	2212	1921,98
GOR-M4	<0,2	2,21	475,53	79,85	<0,2	2862	<0,2	39,23	0,14	60,83	149,79	2,82	4,20	2136	1982,72
GOR-MD1	<0,2	1304,67	416,93	118807,36	<0,2	149722	<0,2	4246,61	265,61	22118,58	40703,10	<0,01	2,00	265440	59325,12
ISL-BACKUP	26,70	6,71	111,02	3517,80	<0,2	10593	32,50	130,50	15,21	80,43	1850,86	1,84	7,80	7540	759,41
ISL-M1	87,80	140,51	1018,24	90716,97	<0,2	159605	107,10	3518,32	394,89	2398,34	45940,68	4,70	7,40	146340	7802,16
ISL-M2	69,90	87,40	163,38	56537,90	<0,2	112086	85,20	2042,35	244,26	1373,06	27485,94	5,69	7,60	89740	3668,12
ISL-M3	124,60	251,82	554,45	242143,59	<0,2	<200000	151,90	6308,99	761,43	4252,76	105749,51	8,47	6,90	351100	13300,18
ISL-M4	45,90	18,23	376,78	9470,60	<0,2	24293	55,90	359,61	39,02	234,37	4813,83	<0,01	8,00	16280	1751,77
ISL-M5	45,20	18,98	350,11	8519,27	<0,2	24211	55,10	335,40	38,97	215,12	4445,74	<0,01	8,00	16060	1751,35
ISL-MD3	26,30	6,77	110,20	3538,38	<0,2	10534	32,10	129,38	15,64	80,23	1862,88	1,82	7,70	7510	762,66
PAR-BACKUP	482,40	268,07	464,97	118801,30	<0,2	195329	588,00	2697,84	203,42	1685,77	74759,32	<0,01	7,60	196660	7427,29
PAR-M1	432,90	87,97	144,59	25236,12	193,10	60436	135,20	692,02	54,44	373,31	14310,68	<0,01	8,90	44700	1849,51
PAR-M3	487,60	400,22	630,37	186404,70	<0,2	<200000	594,40	4712,86	344,15	3091,77	95522,89	<0,01	7,40	304920	12036,03

Punto	Alcalinidad (mg/l)	B ³⁺ (mg/l)	Ca ²⁺ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	CO ₃ ²⁻ (mg/l)	CE (uS/cm)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)	Li ⁺ (mg/l)	Mg ²⁺ (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	pH (upH)	SDT (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)
PAR-M4	734,10	361,67	568,83	241287,09	<0,2	<200000	894,90	3808,86	274,79	2330,67	108037,95	<0,01	7,50	330020	15234,36
PAR-M5	386,70	179,70	1247,88	97589,20	<0,2	171354	471,40	1637,70	129,52	1087,02	52317,43	<0,01	8,00	159600	6944,12
PAR-M6	184,40	21,18	102,62	7399,97	70,20	19440	82,10	173,11	12,09	98,46	3911,10	0,29	9,00	14240	733,08
PAR-MD2	188,70	21,98	102,62	7516,13	75,70	19963	76,10	179,87	12,26	102,16	4011,61	<0,01	9,00	14300	729,73

Tabla 4-2: Resultados del monitoreo isotópico correspondiente a la séptima campaña de terreno.

Nombre punto	$\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ (‰)	$\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}$ (‰)
ISL-M7	-3,05	-43,67
GOR-M5	-5,85	-60,17

4.1 Control de calidad

Para verificar los resultados obtenidos de laboratorio de los elementos químicos disueltos se comprueba el principio de la electroneutralidad, es decir, que la suma de los aniones disueltos debe ser igual a los cationes disueltos.

Considerando lo anterior, se estima la diferencia porcentual relativa entre la suma de cationes (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Li^+ y B^{3+}) y de aniones (HCO_3^- , CO_3^{2-} , Cl^- , NO_3^- y SO_4^{2-}) (Tabla 4-3). Solo uno de los puntos analizados en el laboratorio superó el 15% de diferencia porcentual, correspondiente al punto PAR-M4 con un valor de 16%, por lo que en general los análisis químicos realizados por el laboratorio se consideran fidedignos.

Cabe mencionar que en el caso de los salares estudiados, se podría admitir un error de balance de hasta 15-20%, debido a que podrían existir parámetros fuera de la batería de análisis que incidan en dicho error.

Tabla 4-3: Error porcentual calculado por Amphos 21.

Nombre punto	Diferencia Porcentual Relativa RDP (%)
AGI-BACKUP	5,92
AGI-M1	3,70
AGI-M2	6,11
AGI-M3	7,33
AGI-M5	2,47
AGI-M6	7,24
AGI-MB4	0,08
GOR-M1	2,38
GOR-M2	8,52
GOR-M3	3,53
GOR-M4	9,21
GOR-MD1	5,37
ISL-BACKUP	6,99

Nombre punto	Diferencia Porcentual Relativa RDP (%)
ISL-M1	5,61
ISL-M2	7,84
ISL-M3	14,40
ISL-M4	6,36
ISL-M5	5,49
ISL-MD3	7,01
PAR-BACKUP	1,13
PAR-M1	2,74
PAR-M3	7,69
PAR-M4	16,02
PAR-M5	6,62
PAR-M6	6,83
PAR-MD2	6,25

5 Resultados ensayos de evaporación

En este capítulo se presentan las series diarias de evaporación obtenidas mediante el método del domo en la séptima campaña (abril de 2025).

La presente campaña se ha caracterizado porque numerosos registros de humedad absoluta han captado valores de evaporación nulos o cercanos a cero. Se interpreta, por lo tanto, que tales valores representarían la evaporación proveniente de la humedad del suelo y no de la napa freática.

Salar Aguilar

Las series de evaporación diaria registradas en el salar de Aguilar se presentan en la Figura 5-1. Se observa que, en los domos D01, D02 y D05, aproximadamente a partir de las 14 horas, las evaporaciones fueron nulas o muy cercanas a cero.

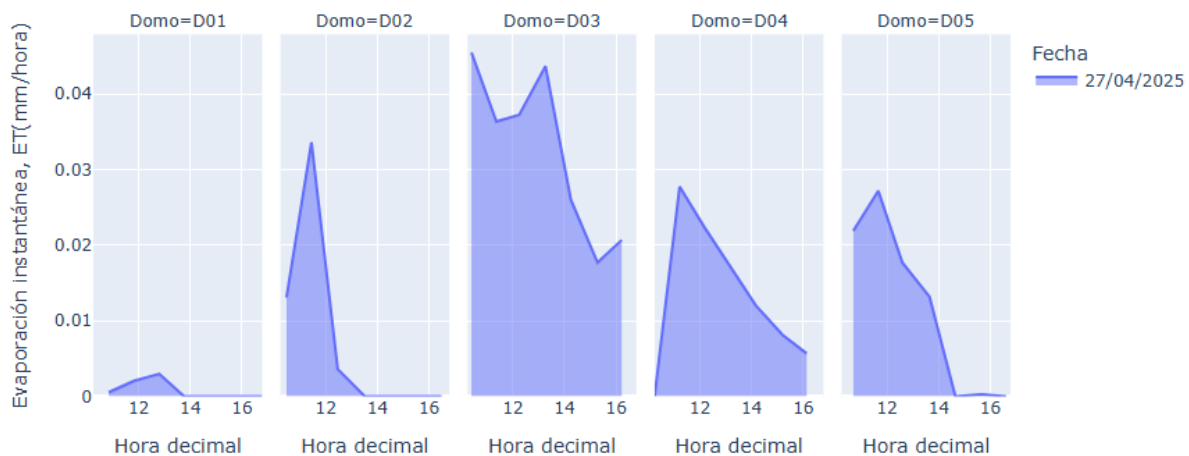


Figura 5-1: Series diarias de ensayos de evaporación de domos en el salar de Aguilar.

En la Tabla 5-1 se presentan los resultados diarios correspondientes a los ensayos previamente descritos. El rango de evaporación diaria se mantuvo entre los 0,01 y los 0,27 mm, con un promedio de 0,11. De esta forma, es posible interpretar que, durante la presente campaña, las evaporaciones de los domos del salar de Aguilar dependen fuertemente de su ubicación en el salar.

Tabla 5-1: Resultados evaporación diaria salar de Aguilar. Séptima campaña.

Salar Aguilar	
Ensayo	ET/día (mm)
D01	0,01

Salar Aguilar	
Ensayo	ET/día (mm)
D02	0,06
D03	0,27
D04	0,10
D05	0,10
Promedio	0,11

Salar Gorbea

En la Figura 5-2 se presentan los resultados obtenidos en el salar de Gorbea. En esta es posible apreciar que los domos D02 y D03 estarían midiendo la evaporación de la humedad del suelo ya que presentan valores considerablemente más bajos que el resto de los domos.

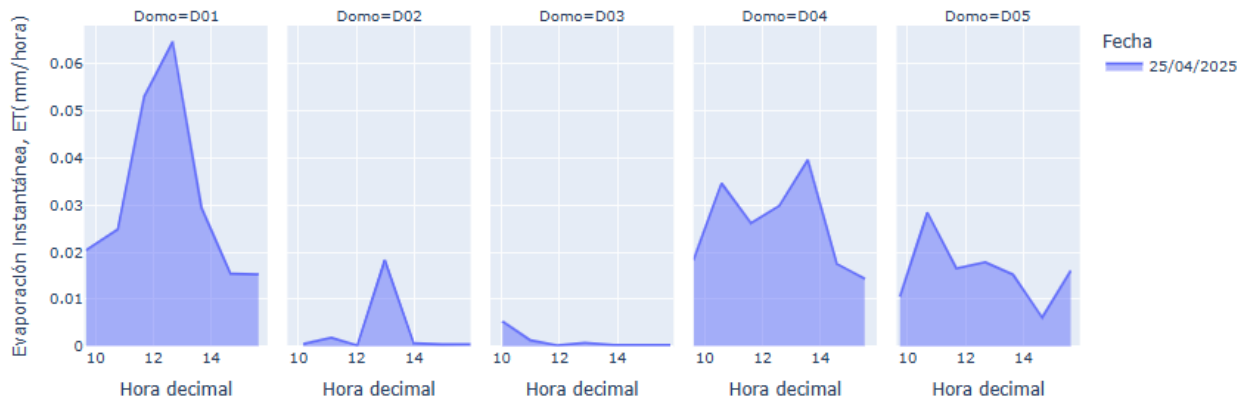


Figura 5-2: Series diarias de ensayos de evaporación de domos en el salar de Gorbea.

En la Tabla 5-2 se presentan los resultados diarios correspondientes a los ensayos en el salar de Gorbea. El rango de evaporación diaria de estos domos, que estarían midiendo la evaporación de la napa freática, se mantuvo entre los 0,13 mm y 0,25 mm.

Tabla 5-2: Resultados evaporación diaria salar de Gorbea. Séptima campaña.

Salar Gorbea	
Ensayo	ET/día (mm)
D01	0,25
D02	0,02
D03	0,01
D04	0,20
D05	0,13
Promedio	0,12

Salar La Isla

En la Figura 5-3 se presentan los resultados de los ensayos realizados en el salar de La Isla. De acuerdo con su magnitud, es posible dividir en dos grupos los domos. Las diferencias que se observan entre el domo D01 y el D02, que están separados a 90 m, se deberían a la porosidad del suelo. El domo D01, que registra mayores valores de evaporación, se ubica en un suelo más poroso que sobre el que se ubica el D02.

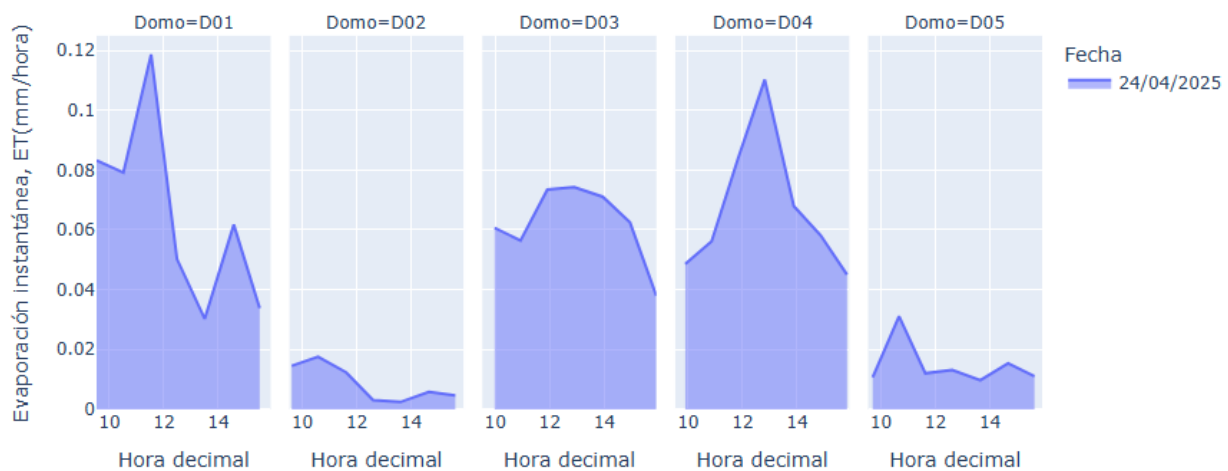


Figura 5-3: Series diarias de ensayos de evaporación de domos en el salar de La Isla.

En la Tabla 5-3 se presentan los resultados diarios correspondientes a los ensayos previamente descritos. El rango de evaporación diaria se mantuvo entre 0,07 y 0,52 mm.

Tabla 5-3: Resultados evaporación diaria salar de La Isla. Séptima campaña.

Salar La Isla	
Ensayo	ET/día (mm)
D01	0,52
D02	0,07
D03	0,51
D04	0,54
D05	0,12
Promedio	0,35

Las Parinas

Los resultados de los ensayos en el salar de Las Parinas (ver Figura 5-4) muestran una similitud en todos los ensayos, salvo por el D02. Se interpreta que este domo a primeras horas de la mañana estuvo registrando mediciones de humedad del suelo.

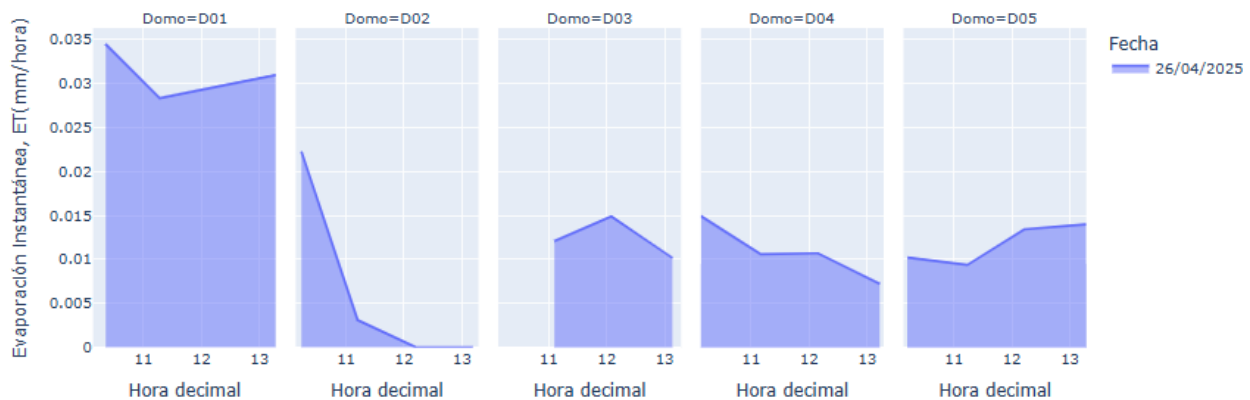


Figura 5-4: Series diarias de ensayos de evaporación de domos en el salar Las Parinas.

En la Tabla 5-4 se presentan los resultados de evaporación diaria en el salar de Las Parinas, donde no se observan grandes variaciones, a excepción de los ensayos en los domos D01 y D02, que registran evaporaciones diarias de 0,22 mm y 0,04 mm.

Tabla 5-4: Resultados evaporación diaria salar de Las Parinas. Séptima campaña.

Salar Las Parinas	
Ensayo	ET/día (mm)
D01	0,22
D02	0,04
D03	0,08
D04	0,07
D05	0,09
Promedio	0,10

Anexo A. Fichas técnicas de medición de evaporación en domos (Campaña N°7)

Anexo B. Fichas técnicas de monitoreo hidroquímico (Campaña N°7)

Anexo C. Informes de resultados de análisis de laboratorio