

Nota Técnica N°07: Medición de evaporación y monitoreo hidroquímico

Campaña N°6 de monitoreo trimestral (Febrero 2025)

28-07-2025

Versión 0

A21_1115_NT07_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 sexta campaña de terreno, que se llevó a cabo durante el mes de febrero 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 correspondiente a la sexta de las campañas trimestrales comprometidas (Campaña N°6).

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.

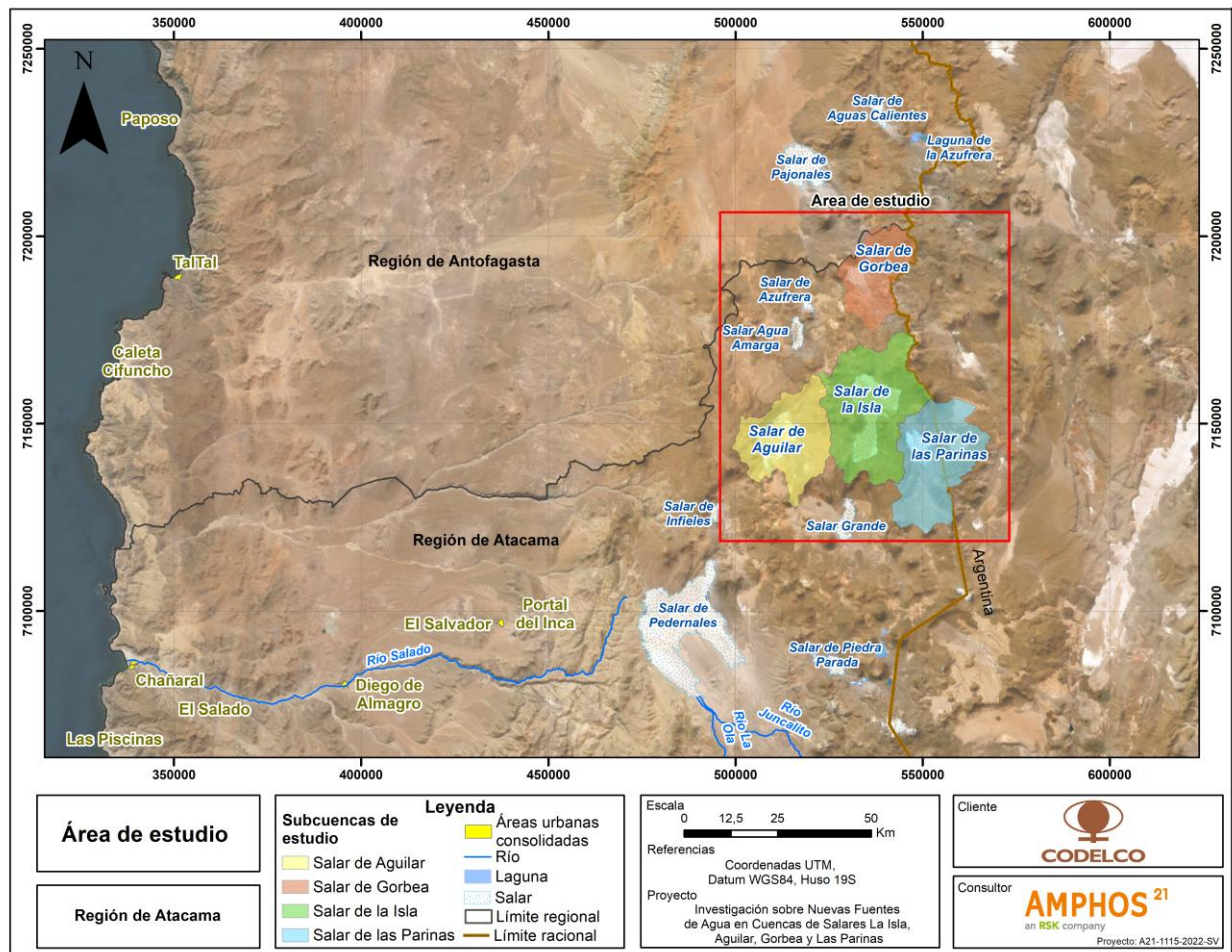


Figura 1-1: Ubicación geográfica salares La Isla, Aguilar, Gorbea y Las Parinas.

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 estacionalidad del año. Además, se priorizará tomar muestras de agua subterránea, para una mayor representatividad de estas en el sector.

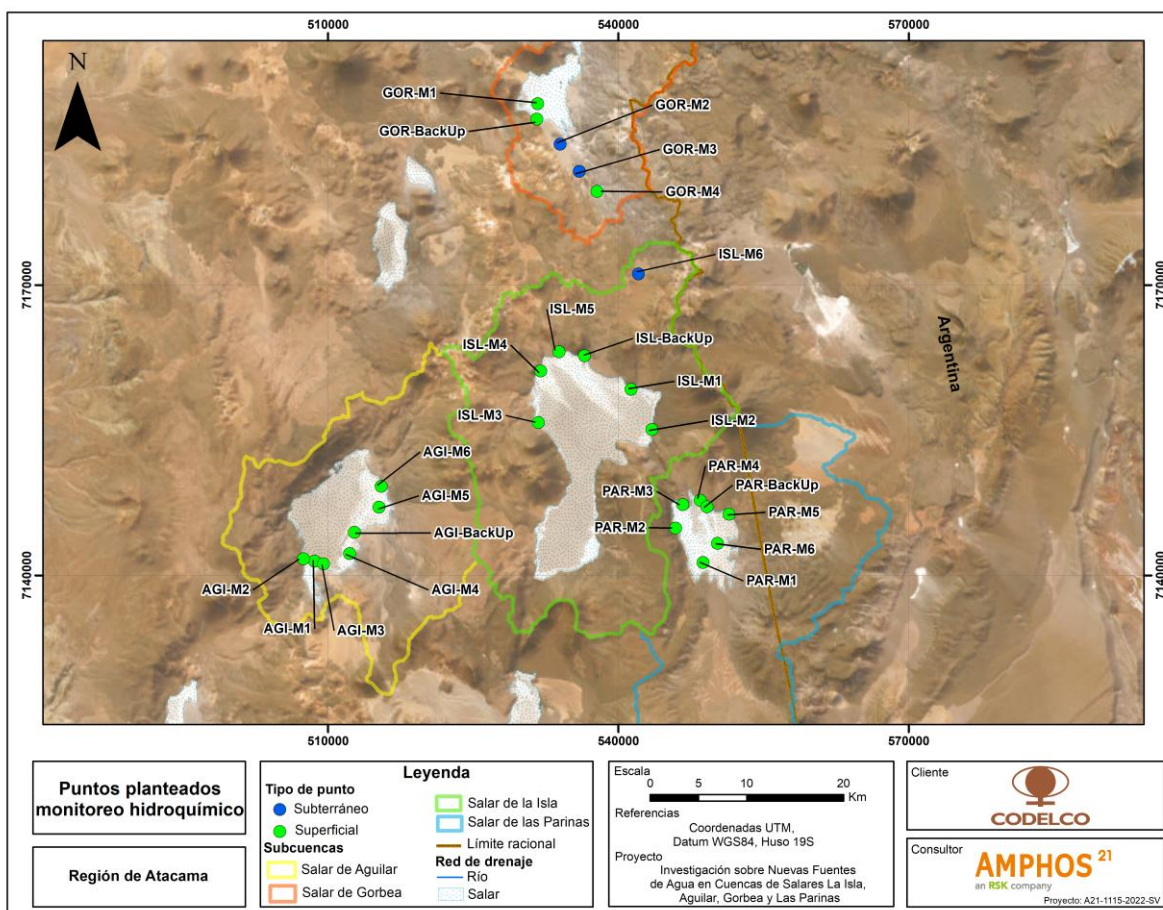


Figura 3-1: Ubicación de puntos planteados para el monitoreo hidroquímico.

La sexta campaña de terreno se desarrolló entre los días 13 y 22 de febrero 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 e isotópico en 22 puntos.

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 23, considerando 1 duplicado. Cabe señalar que, si bien la planificación original de la campaña contemplaba la toma de 26 muestras isotópicas en 25 puntos de monitoreo, finalmente se recolectaron 23 muestras debido a un problema de planificación que impidió la visita a tres puntos de monitoreo, los cuales serán incluidos en la siguiente campaña de terreno.

3.1 Actividades de terreno

De forma específica y detallada, durante la sexta campaña de terreno se visitaron:

En el salar de Gorbea 9 puntos, donde se realizaron 5 ensayos de evaporación con domo y se tomaron 4 muestras para análisis hidroquímico e isotópico más una muestra duplicada para su análisis 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 e isotópico

Por su parte, en el salar de La Isla se visitaron 11 puntos, donde se realizaron 5 ensayos de evaporación con domo y se tomaron 6 muestras para análisis hidroquímico e isotópico, además de un duplicado correspondiente a ambos análisis y una muestra blanco destinada únicamente a análisis hidroquímico.

Finalmente, en el salar de Las Parinas se visitaron 11 puntos, donde se realizaron 5 ensayos de evaporación con domo y se tomaron 6 muestras para análisis hidroquímico e isotópico más una muestra duplicada para análisis hidroquímico.

La Figura 3-2 ilustra la ubicación espacial de los puntos monitoreados durante la Campaña N°6.

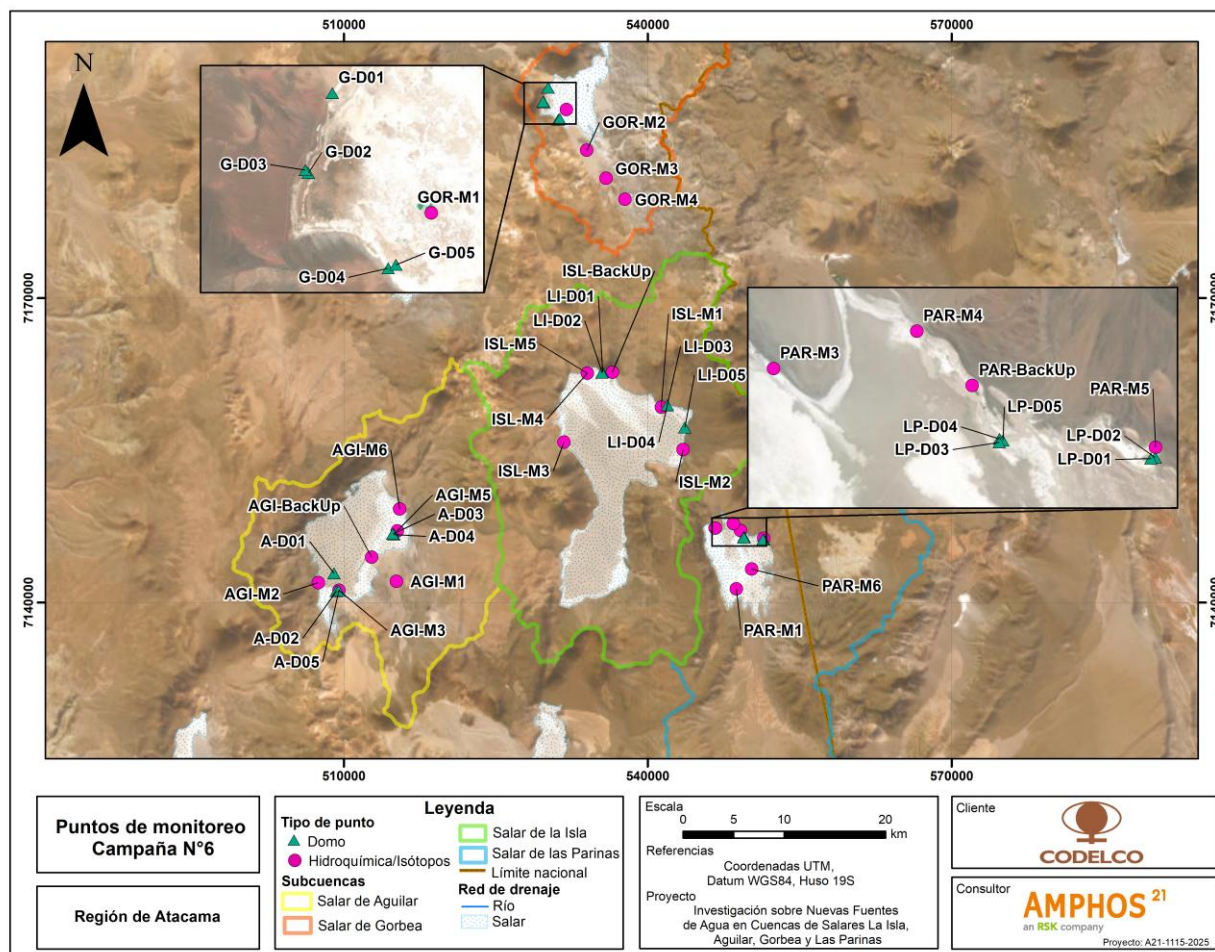


Figura 3-2: Distribución espacial de los puntos monitoreados durante la sexta campaña de terreno.

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

- **13 de febrero:** se traslada el equipo de Amphos 21 desde Santiago a Copiapó, donde se compran, retiran y preparan equipos y materiales. Posteriormente, se inicia el viaje hacia la casa rodante en el salar de La Isla, sin embargo, debido a condiciones climáticas adversas, el equipo se debe alojar en el campamento de ENAMI por seguridad.
- **14 de febrero:** se realiza el traslado de maletas, materiales necesarios para la medición de evaporación con domos y para el muestreo hidroquímico, hacia el salar de La Isla, donde se localiza la casa rodante. Posteriormente, se realiza orden y organización de materiales en la casa rodante. El día finaliza con un reconocimiento hacia el salar de Las Parinas para verificar el estado de caminos y rutas.

- **15 de febrero:** 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 8:30 h y finalizaron en torno a las 16:00 h.

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 19 cm en LI-D01 y de 15 cm en LI-D02. Alrededor de las 15:30 h. se registra una velocidad de viento máxima de 43,2 y 51,4 km/h en LI-D01 y LI-D02, respectivamente. En cuanto a la temperatura máxima alcanzada, los puntos registran valores de 29,8 y 26,2°C, en torno a las 12:00 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 3 cm desde una calicata. Respecto a los datos obtenidos durante el ensayo en ambos domos, se identifica que la temperatura máxima se alcanza alrededor de las 14:40 h. con un valor en torno a los 30°C, mientras que la velocidad del viento alcanza máximos de 43,2 y 50,4 km/h en LI-D03 y LI-D04, respectivamente. Además, el domo presenta un aumento en el porcentaje de nubosidad a medida que avanza el día, pasando de un 15% a un 90%. La Figura 3-3 muestra el ensayo de evaporación realizado en el punto LI-D04.

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 realiza una calicata a una distancia de 24 m del punto de ensayo, registrando el nivel freático a los 3 cm. En cuanto a las mediciones en el domo, se registran velocidades de viento con un valor máximo de 48,8 km/h a las 16:00 h, además de temperaturas máximas de 30,6 °C y un porcentaje de nubosidad que aumenta conforme avanza el día desde un 15% a un 90%.



Figura 3-3: Ensayo de evaporación en domo del punto LI-D04, ubicado en el salar de La Isla.

- **16 de febrero:** se realizan 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 9:30 h y las 17:40 h, aproximadamente.

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 ambos puntos se registra el nivel freático a 1 cm. La velocidad del viento alcanza un valor máximo de 31,2 y 42,1 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 30°C alrededor de las 11:30 h. Durante el ensayo se presenta una nubosidad que va desde el 20 al 80 %, haciendo que los domos no 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 3 cm. En cuanto a los resultados obtenidos del ensayo, se registra una velocidad de viento máxima de 43,2, 50,4 y 48,8 km/h en los puntos LP-D03, LP-D04 y LP-D05, respectivamente y, además, se observa una temperatura máxima en torno a 30°C, con un porcentaje de nubosidad que va desde un 15% a un 90% conforme avanza el ensayo. La Figura 3-4 muestra el ensayo de evaporación realizado en el punto LP-D03.



Figura 3-4: Ensayo de evaporación en domo del punto LP-D03, ubicado en el salar de Las Parinas.

- **17 de febrero:** 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 9:40 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 30 cm. Durante el ensayo, el domo recibe radiación directa con un porcentaje de nubosidad que no supera el 10%, además, el viento y la temperatura alcanzan un valor máximo de 28,2 km/h y de 28°C, respectivamente. La Figura 3-5 muestra el ensayo de evaporación realizado en el punto G-D01.

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 30 cm. Se registra una temperatura máxima de 26,2°C en G-D02 y de 28,7 en G-D03, ambos puntos presentan una nubosidad de 0 - 10% durante el ensayo. Además, en los puntos G-D02 y G-D03 se alcanza una velocidad máxima de viento en torno a 29 km/h.

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 del punto G-D04 se encuentra a los 3 cm, mientras que el punto G-D05 presenta el nivel freático a los 15 cm. Respecto a la temperatura, ambos puntos registran un valor máximo en torno a 27°C durante la tarde y una velocidad del viento

máxima de 22,3 y 28,8 km/h en G-D04 y G-D05, respectivamente. Los domos reciben radiación directa durante todo el ensayo, con una nubosidad inferior al 10%.



Figura 3-5: Ensayo de evaporación en domo del punto G-D01, ubicado en el salar de Gorbea.

- **18 de febrero:** 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 10:00 h y las 16:40 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 25 cm. Durante el ensayo se registran vientos de hasta 43,2 km/h y temperaturas en torno a 29°C, por otra parte, se observa un bajo porcentaje de nubosidad, que no supera el 15%.

Por su parte, los puntos A-D03 y A-D04, se posicionan sobre una costra salina blanda con sedimentos y yeso, y ambos puntos presentan un nivel freático de 7 cm. En cuanto a los resultados del ensayo ambos puntos presentan una velocidad máxima en torno a 46 km/h y una nubosidad que varía entre un 5 – 10%. Respecto a la temperatura, el punto A-D03 presenta un valor máximo de 42,1°C, mientras que el punto A-D04 un valor 29,8°C. En la Figura 3-6 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 34 cm y 21 cm, respectivamente.

El ensayo realizado en el punto A-D05 tiene como resultado una velocidad y temperatura máxima de 44,9 km/h y 31,5°C, mientras que el punto A-D02 registra valores de 42,7 km/h y 31°C, respectivamente. En cuanto al porcentaje de nubosidad ambos puntos presentan valores entre un 5 – 15%.

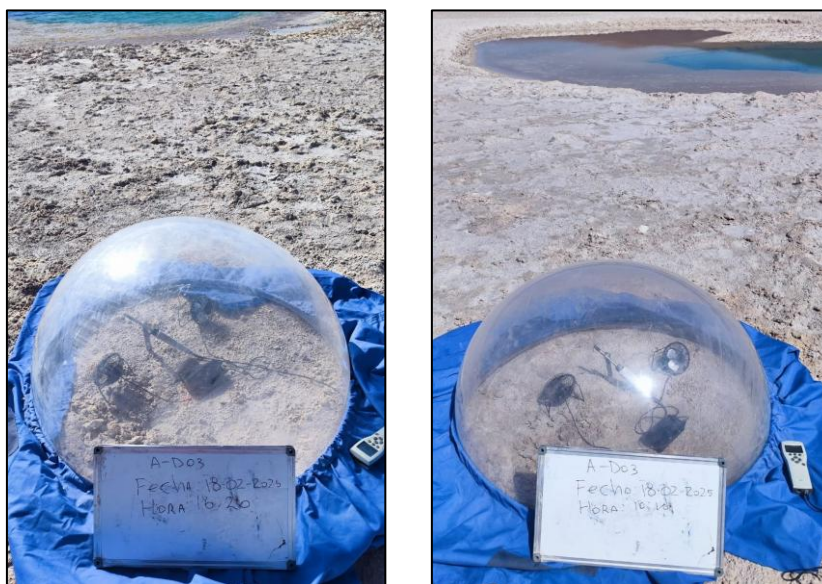


Figura 3-6: Ensayo de evaporación en domo del punto A-D03 ubicado en el salar de Aguilar.

- **19 de febrero:** inician las actividades de muestreo hidroquímico superficial y subterráneo en el salar de Las Parinas, donde se visitan 6 puntos de muestreo de agua. En cada punto se recolectó una muestra de agua (PAR-M1, PAR-M3, PAR-M4, PAR-M5, PAR-M6 y PAR-BACKUP) y, adicionalmente, en el punto PAR-M6 se toma una muestra duplicada destinada al análisis hidroquímico (PAR-MD2). En la Figura 3-7 se muestra el monitoreo hidroquímico realizado en puntos superficiales.

En cuanto a los parámetros fisicoquímicos in situ, se registran valores de conductividad entre los 216.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 218.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en los puntos PAR-BACKUP, PAR-M3 y PAR-M4, mientras que en los puntos PAR-M1, PAR-M5 y PAR-M6 se observan valores en el rango entre 40.000 a 80.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Por otra parte, los valores de pH van desde los 6,92 (PAR-M3) hasta los 8,62 (PAR-M1).



Figura 3-7: Monitoreo hidroquímico en puntos de agua superficial (PAR-M1 y PAR-M3), ubicados en el salar de Las Parinas.

Se realiza el traslado hacia el salar de Gorbea desde el salar de Las Parinas, donde se visitan 4 puntos de muestreo de agua en el salar 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). En la Figura 3-8 se muestra el monitoreo hidroquímico realizado en un punto superficial y uno subterráneo.

En tanto a los parámetros fisicoquímicos in situ, se registra en el salar Gorbea una conductividad de 131.700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 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 a 4,4, con excepción del punto GOR-M1, que presenta un valor de 2,12.



Figura 3-8: Monitoreo hidroquímico en punto de agua superficial y subterránea (GOR-M1 y GOR-M2), ubicados en el salar de Gorbea.

- **20 de febrero:** se realiza el traslado al salar de La Isla, donde se tomaron 6 muestras de agua para análisis fisicoquímicos in situ y análisis hidroquímico (ISL-M1, ISL-M2, ISL-M3, ISL-M4, ISL-M5, ISL-BACK UP) y una muestra duplicada del punto ISL-BACKUP (ISL-MD3).

Respecto a los parámetros fisicoquímicos in situ, los puntos ISL-M1, ISL-M2 y ISL-M3 registran valores de conductividad entre 197.000 $\mu\text{S/cm}$ y 227.700 $\mu\text{S/cm}$, mientras que los punto ISL-M4, ISL-M5 y ISL-BACKUP (localizados en el norte del salar) presentan valores de conductividad entre 10.000 $\mu\text{S/cm}$ y 50.000 $\mu\text{S/cm}$. En cuanto al pH, las muestras del salar de La Isla presentan valores de 6,51 a 7,62. La Figura 3-9 muestra el monitoreo hidroquímico realizado en algunos puntos del salar.



Figura 3-9: Monitoreo hidroquímico en puntos de agua superficial (ISL-BACKUP e ISL-M3), ubicados en el salar de La Isla.

Se realiza el traslado hacia el salar de Aguilar desde el salar La Isla, donde se visitan 6 puntos de muestreo de agua en el salar para medir parámetros fisicoquímicos in situ y realizar posteriormente su muestreo hidroquímico. En cada punto se recolectó una muestra de agua (AGI-M1, AGI-M2, AGI-M3, AG-M5, AGI-M6 y AGI-BACK UP). En la Figura 3-10 se muestra el monitoreo hidroquímico superficial realizado en el salar Aguilar.

En cuanto a los parámetros fisicoquímicos in situ del salar de Aguilar, se registran valores de conductividad eléctrica entre los 175.000 $\mu\text{S/cm}$ y los 216.000 $\mu\text{S/cm}$ en los puntos AGI-BACKUP, AGI-M2, AGI-M3 y AGI-M5, en el punto AGI-M6 se registra un valor de 40.630 $\mu\text{S/cm}$ y en el AGI-M1 (agua subterránea) se registra un valor de 3.117 $\mu\text{S/cm}$. Respecto a los valores de pH, se registran valores en torno a los 5,5 en los puntos AGI-M2 y AGI-M3, mientras que en el resto de puntos los valores fluctúan entre los 6,7 y 7,6.



Figura 3-10: Monitoreo hidroquímico en punto de agua superficial (AGI-BACKUP y AGI-M3), ubicados en el salar de Aguilar.

- **21 - 22 de febrero:** se realizan trabajos de gabinete revisando fichas técnicas de los domos y el muestreo hidroquímico. Se ordenan y empaquetan equipos y muestras hidroquímicas, se elabora guía de despacho y se envían. Finaliza la campaña con el traslado del personal de Amphos 21 desde terreno a su lugar de residencia.

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°6. 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 sexta 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	18-02-2025
A-D02	Salar de Aguilar	Domo	-	509.249	7.141.110	18-02-2025
A-D03	Salar de Aguilar	Domo	-	514.834	7.146.743	18-02-2025
A-D04	Salar de Aguilar	Domo	-	514.929	7.146.680	18-02-2025
A-D05	Salar de Aguilar	Domo	-	509.483	7.141.162	18-02-2025

Punto	Sector	Medición	Tipo de punto	Este WGS84	Norte WGS84	Fecha medición
G-D01	Salar de Gorbea	Domo	-	530.166	7.190.732	17-02-2025
G-D02	Salar de Gorbea	Domo	-	529.730	7.189.292	17-02-2025
G-D03	Salar de Gorbea	Domo	-	529.675	7.189.345	17-02-2025
G-D04	Salar de Gorbea	Domo	-	531.173	7.187.576	17-02-2025
G-D05	Salar de Gorbea	Domo	-	531.315	7.187.639	17-02-2025
LI-D01	Salar de la Isla	Domo	-	535.523	7.162.704	15-02-2025
LI-D02	Salar de la Isla	Domo	-	535.477	7.162.629	15-02-2025
LI-D03	Salar de la Isla	Domo	-	541.927	7.159.417	15-02-2025
LI-D04	Salar de la Isla	Domo	-	541.922	7.159.432	15-02-2025
LI-D05	Salar de la Isla	Domo	-	543.661	7.157.234	15-02-2025
LP-D01	Salar de las Parinas	Domo	-	551.376	7.146.185	16-02-2025
LP-D02	Salar de las Parinas	Domo	-	551.430	7.146.196	16-02-2025
LP-D03	Salar de las Parinas	Domo	-	549.478	7.146.385	16-02-2025
LP-D04	Salar de las Parinas	Domo	-	549.481	7.146.430	16-02-2025
LP-D05	Salar de las Parinas	Domo	-	549.524	7.146.409	16-02-2025
AGI-BACKUP	Salar de Aguilar	HQ/Isótopos	Superficial	512.725	7.144.452	20-02-2025
AGI-M1	Salar de Aguilar	HQ/Isótopos	Subterráneo	515.182	7.142.080	20-02-2025
AGI-M2	Salar de Aguilar	HQ/Isótopos	Superficial	507.473	7.141.943	20-02-2025
AGI-M3	Salar de Aguilar	HQ/Isótopos	Superficial	509.519	7.141.191	20-02-2025
AGI-M5	Salar de Aguilar	HQ/Isótopos	Superficial	515.269	7.147.056	20-02-2025
AGI-M6	Salar de Aguilar	HQ/Isótopos	Superficial	515.495	7.149.195	20-02-2025
GOR-M1	Salar de Gorbea	HQ/Isótopos	Superficial	531.954	7.188.574	19-02-2025
GOR-M2	Salar de Gorbea	HQ/Isótopos	Subterráneo	533.967	7.184.571	19-02-2025
GOR-M3	Salar de Gorbea	HQ/Isótopos	Subterráneo	535.877	7.181.803	19-02-2025
GOR-M4	Salar de Gorbea	HQ/Isótopos	Superficial	537.748	7.179.727	19-02-2025
GOR-MD1	Salar de Gorbea	HQ	Superficial	531.954	7.188.574	19-02-2025
ISL-BACKUP	Salar de la Isla	HQ/Isótopos	Superficial	536.500	7.162.673	20-02-2025
ISL-M1	Salar de la Isla	HQ/Isótopos	Superficial	541.334	7.159.226	20-02-2025

Punto	Sector	Medición	Tipo de punto	Este WGS84	Norte WGS84	Fecha medición
ISL-M2	Salar de la Isla	HQ/Isótopos	Superficial	543.490	7.155.054	20-02-2025
ISL-M3	Salar de la Isla	HQ/Isótopos	Superficial	531.718	7.155.794	20-02-2025
ISL-M4	Salar de la Isla	HQ/Isótopos	Superficial	534.025	7.162.590	20-02-2025
ISL-M5	Salar de la Isla	HQ/Isótopos	Superficial	534.031	7.162.595	20-02-2025
ISL-MB4	Salar de la Isla	HQ	-	#N/D	#N/D	20-02-2025
ISL-MD3	Salar de la Isla	HQ/Isótopos	Superficial	536.500	7.162.673	20-02-2025
PAR-BACKUP	Salar de las Parinas	HQ/Isótopos	Superficial	549.142	7.147.094	19-02-2025
PAR-M1	Salar de las Parinas	HQ/Isótopos	Superficial	548.746	7.141.327	19-02-2025
PAR-M3	Salar de las Parinas	HQ/Isótopos	Superficial	546.658	7.147.305	19-02-2025
PAR-M4	Salar de las Parinas	HQ/Isótopos	Superficial	548.449	7.147.771	19-02-2025
PAR-M5	Salar de las Parinas	HQ/Isótopos	Superficial	551.431	7.146.323	19-02-2025
PAR-M6	Salar de las Parinas	HQ/Isótopos	Superficial	550.248	7.143.300	19-02-2025
PAR-MD2	Salar de las Parinas	HQ	Superficial	550.248	7.143.300	19-02-2025

4 Resultados de análisis hidroquímico e isotópico

Durante la sexta 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 de este último salar (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 sexta 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 sexta campaña de terreno.

Punto	Alcalinidad (mg/l)	B (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	707,8	7,18	20275,61	100573,31	0,2	206408	862,8	1610,74	12,22	2771,34	29407,35	40,27	7,1	170280	657,17
AGI-M1	125,6	8,62	289,3	377,98	0,2	2910	153	16,76	1,24	66,29	229,2	8,25	7,5	2528	960,86
AGI-M2	593,6	21,56	47210,95	210180,85	0,2	218052	723,6	2566,97	23,97	6222,33	54468,17	410,2	5,8	236100	231,46
AGI-M3	756,9	83,41	48647,33	214433,34	0,2	216890	922,7	2911,85	60,59	6463,43	54842,32	480,29	5,9	250680	188,67
AGI-M5	407,6	7,31	24029,73	105152,33	0,2	209566	496,8	1412,34	12,31	3184,9	27817,83	80,9	6,9	212540	508,26
AGI-M6	79	67,92	3773,37	16165,39	0,2	42001	96,3	234,58	31,31	504,08	4370,92	2,56	7,7	33740	1407,2
GOR-M1	0,2	903,57	397,4	67678,05	0,2	136677	0,2	2612,61	199,05	14234,87	27847,43	0,01	2,3	104420	51989,11
GOR-M2	0,2	1,68	376,85	63,93	0,2	3158	0,2	15,97	0,2	30,85	88,38	0,01	4,2	2236	1358,92
GOR-M3	2,9	3,82	434,87	187,75	0,2	3370	3,6	36,74	0,7	80,8	214,95	0,01	4,9	2516	1816,41
GOR-M4	0,2	2,67	519,03	88,2	0,2	4030	0,2	47,9	0,19	70,03	182,04	1,27	4,1	3388	2087,49
GOR-MD1	0,2	1023,85	447,17	70128,82	0,2	135967	0,2	2797,35	222,66	15574,95	29987,84	0,01	2,3	103600	47611,26
ISL-BACKUP	27,3	6,92	103,21	3160,32	0,2	10689	33,3	127,43	15,21	76,14	1787,75	0,01	7,7	6170	666,99
ISL-M1	140,5	261,67	340,82	109143,25	0,2	208722	171,3	5454,98	821,96	3758,73	59947,49	0,01	7,3	203480	10431,75
ISL-M2	161,7	10,5	279,35	108210,63	0,2	207150	197,1	5153,62	20,57	3472,26	56347,22	0,01	7,3	147790	7685,56
ISL-M3	161,3	11,36	502,12	181546,17	0,2	234233	196,7	7855,99	20,45	5058,65	98249,7	0,01	6,8	216640	11965,51
ISL-M4	95,3	29,97	420,07	12588,47	0,2	37575	116,2	515,4	61,29	302,49	6531,2	0,01	8,1	22340	2103,14
ISL-M5	96,3	30,8	441,57	12438,36	0,2	37098	117,4	536,91	61,68	318,21	6660,06	0,01	8,1	26200	2114,92
ISL-MB4	28,6	0,13	0,13	16,95	0,2	125	34,9	1,94	0,01	0,58	20,23	5,56	7,6	83	1,16
ISL-MD3	28,3	6,94	104	3155,46	0,2	10691	34,5	128,18	15,3	76,51	1783,09	0,01	7,7	6240	661,28
PAR-BACKUP	658,3	13,61	493,45	142504,78	0,2	225616	802,5	3390,21	22,64	1941,79	83278,37	0,01	7,5	174240	9327,34
PAR-M1	533,8	124	164,92	31866,74	216,8	82999	209,7	898,35	68,86	421,52	17847,51	0,01	8,8	65860	2308,16
PAR-M3	849,3	13,05	382,67	179278,04	0,2	228266	1035,3	8630,33	22,57	5385,77	100242,86	0,01	7,2	192900	19484,49

Punto	Alcalinidad (mg/l)	B (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	553,3	8,64	516,5	140889,63	0,2	223536	674,4	3421,69	20,34	1755,46	81396,65	0,01	7,7	189780	8155,33
PAR-M5	288,8	99,93	497,59	38207,42	0,2	92190	352,1	721,83	66,41	457,66	19994,29	0,01	8,2	70140	3033,14
PAR-M6	245,2	41,98	140,07	13514,79	26,1	38941	245,8	334,82	24,09	193,48	7766,75	0,01	8,5	29480	1115,29
PAR-MD2	270,9	65,76	173,73	21224,13	29,6	57243	270	513,94	38,68	297,24	12105,27	0,01	8,4	43720	1736,39

Nota: en rojo se indican aquellos parámetros que se detectaron como fuera de tendencia respecto a los resultados obtenidos en las campañas previas.

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

Nombre punto	$\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ (‰)	$\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}$ (‰)
AGI-BACKUP	6,63	-2,22
AGI-M1	-5,53	-63,59
AGI-M2	2,16	-24,12
AGI-M3	2,24	-28,37
AGI-M5	6,57	-5,39
AGI-M6	-5,40	-21,88
GOR-M1	2,86	-20,53
GOR-M2	-7,54	-66,43
GOR-M3	-7,22	-66,24
GOR-M4	-3,63	-46,19
ISL-BACKUP	-8,43	-71,35
ISL-M1	-0,14	-31,03
ISL-M2	-3,68	-50,26
ISL-M3	4,21	-12,81
ISL-M4	-4,20	-52,24
ISL-M5	-4,20	-52,06
ISL-MD3	-8,48	-71,63
PAR-BACKUP	4,79	-9,77
PAR-M1	2,73	-14,99
PAR-M3	7,96	8,09
PAR-M4	5,81	-5,01
PAR-M5	-1,60	-42,68
PAR-M6	-6,10	-61,92

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 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). Al respecto, ninguno de los puntos analizados en el laboratorio supera una diferencia porcentual del 20%, por lo que 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 (%)
AGI-BACKUP	5,31
AGI-M1	2,94
AGI-M2	5,59
AGI-M3	5,30
AGI-M5	4,70
AGI-M6	3,86
GOR-M1	4,24
GOR-M2	8,11
GOR-M3	5,50
GOR-M4	5,98
GOR-MD1	0,43
ISL-BACKUP	3,25
ISL-M1	0,48
ISL-M2	5,32
ISL-M3	4,36
ISL-M4	5,09
ISL-M5	3,38
ISL-MB4	0,39
ISL-MD3	3,18
PAR-BACKUP	3,87
PAR-M1	3,30
PAR-M3	3,93
PAR-M4	4,29
PAR-M5	7,19
PAR-M6	2,54
PAR-MD2	3,11

5 Resultados ensayos de evaporación

En este capítulo se presentan las series diarias de evaporación obtenidas mediante el método del domo en su sexta campaña (febrero 2025).

Salar de Aguilar

Las series de evaporación diaria registradas en el salar de Aguilar se presentan en la Figura 5-1. Se observa que cuatro de los cinco ensayos reportaron máximos instantáneos significativamente mayor al resto de los datos y, estos van entre los 0,07 mm/hora y 0,1 mm/hora. El ensayo A-D04 alcanza por su parte un set de máximos que varían entre aproximadamente entre 0,07 mm/hora y 0,08 mm/hora.

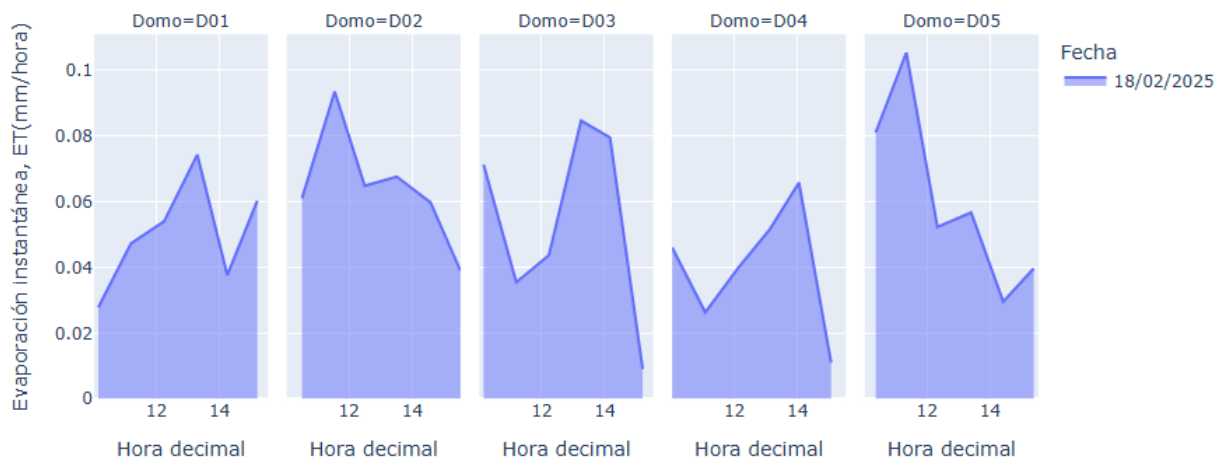


Figura 5-1: Series diarias de ensayos de evaporación de domos en el salar de Aguilar.

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 0,52 y 0,30 mm, con un promedio de 0,44 mm.

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

Salar Aguilar	
Ensayo	ET/día (mm)
A-D01	0,45
A-D02	0,52
A-D03	0,40
A-D04	0,30
A-D05	0,52
Promedio	0,44

Salar de Gorbea

En la Figura 5-2 se presentan los resultados obtenidos en el salar de Gorbea, donde a diferencia de lo registrado en el salar de Aguilar, las diferencias son porcentualmente menores a escala diaria para un mismo punto. Además, es posible dividir los domos de acuerdo con su magnitud de evaporación. Los domos D-01, D-03 y D-07 corresponden a aquellos domos en los que se registra mayor evaporación, mientras que el domo D-02 y el D-05 corresponden a los que miden menor evaporación.

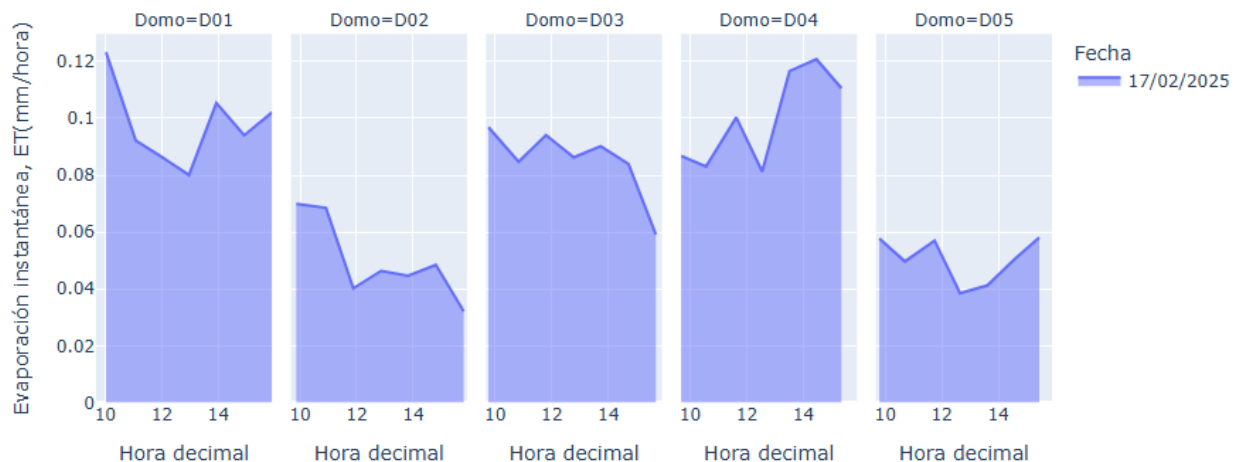


Figura 5-2: Series diarias de ensayos de evaporación de domos en el salar de Gorbea.

En la Tabla 5-2 se presentan los resultados diarios correspondientes a los ensayos en el salar de Gorbea. El rango de evaporación diaria se mantuvo entre 0,45 y 0,94 mm/día, lo cual da a entender que el valor de evaporación de un domo fue más del doble que el otro.

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

Salar Gorbea	
Ensayo	ET/día (mm)
G-D01	0,94
G-D02	0,45
G-D03	0,76
G-D04	0,94
G-D05	0,48
Promedio	0,71

Salar de La Isla

En la Figura 5-3 se presentan los resultados de los ensayos realizados en el salar de La Isla, los cuales muestran resultados parecidos para los domos D-01 y D-02. El domo D-03 y el D-04 presentan máximos entre dos y tres veces superiores a la mediana de su registro de evaporación diaria. Finalmente, el domo D-05, registra los menores valores de evaporación.

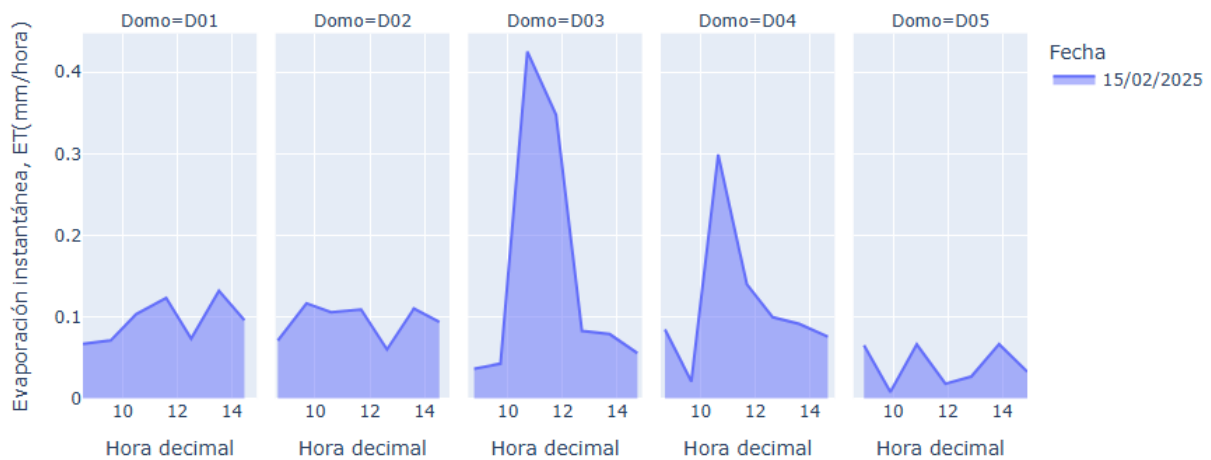


Figura 5-3: Series diarias de ensayos de evaporación de domos en el salar de La Isla.

En la Tabla 5-3 se presentan los resultados diarios correspondientes a los ensayos previamente descritos. El rango de evaporación diaria se mantuvo entre 0,37 y 1,20 mm. Los ensayos registrados en este salar poseen el mayor rango entre el máximo y el mínimo.

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

Salar La Isla	
Ensayo	ET/día (mm)
LI-D01	0,89
LI-D02	0,88
LI-D03	1,20
LI-D04	0,99
LI-D05	0,37
Promedio	0,87

Salar de 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 el correspondiente al domo D-01. A excepción del domo mencionado anteriormente, los ensayos registran valores máximos alrededor de las 14:00 horas, con mínimos en la mañana y en la tarde.

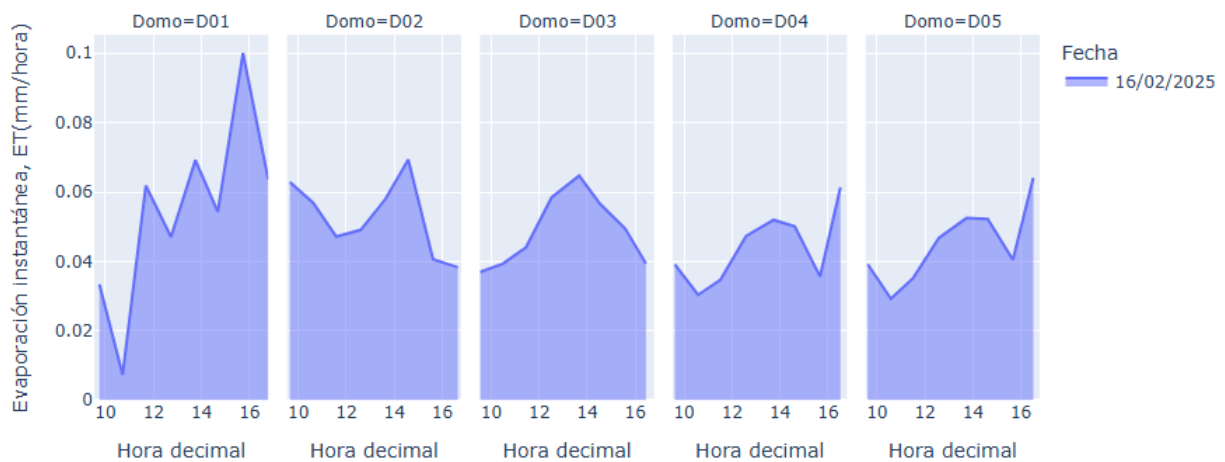


Figura 5-4: Series diarias de ensayos de evaporación de domos en el salar de Las Parinas.

En la Tabla 5-4 se presentan los resultados de evaporación en el salar de Las Parinas. Se aprecia que, salvo por el domo D-01, que registra 0,79 mm, el resto se encuentra en un rango de entre los 0,52 mm y 0,55 mm.

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

Salar Las Parinas	
Ensayo	ET/día (mm)
LP-D01	0,79
LP-D02	0,55
LP-D03	0,55
LP-D04	0,53
LP-D05	0,52
Promedio	0,59

**Anexo A. Fichas técnicas de medición de evaporación en domos
(Campaña N°6)**

**Anexo B. Fichas técnicas de monitoreo hidroquímico (Campaña
N°6)**

Anexo C. Informes de resultados de análisis de laboratorio