

Nota Técnica N°03: Medición de evaporación y monitoreo hidroquímico e isotópico

Campaña N°2 de monitoreo trimestral (marzo 2024)

29-05-2024

Versión 0

A21_1115_NT03_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 segunda campaña de terreno, que se llevó a cabo entre los meses de febrero y marzo de 2024, la cual consiste en el levantamiento de información a través de la medición de evaporación con domos y de un monitoreo hidroquímico e isotópico, cuyas actividades se distribuyen en las cuencas de los salares 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 segunda de las campañas trimestrales comprometidas (Campaña N°2).

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.

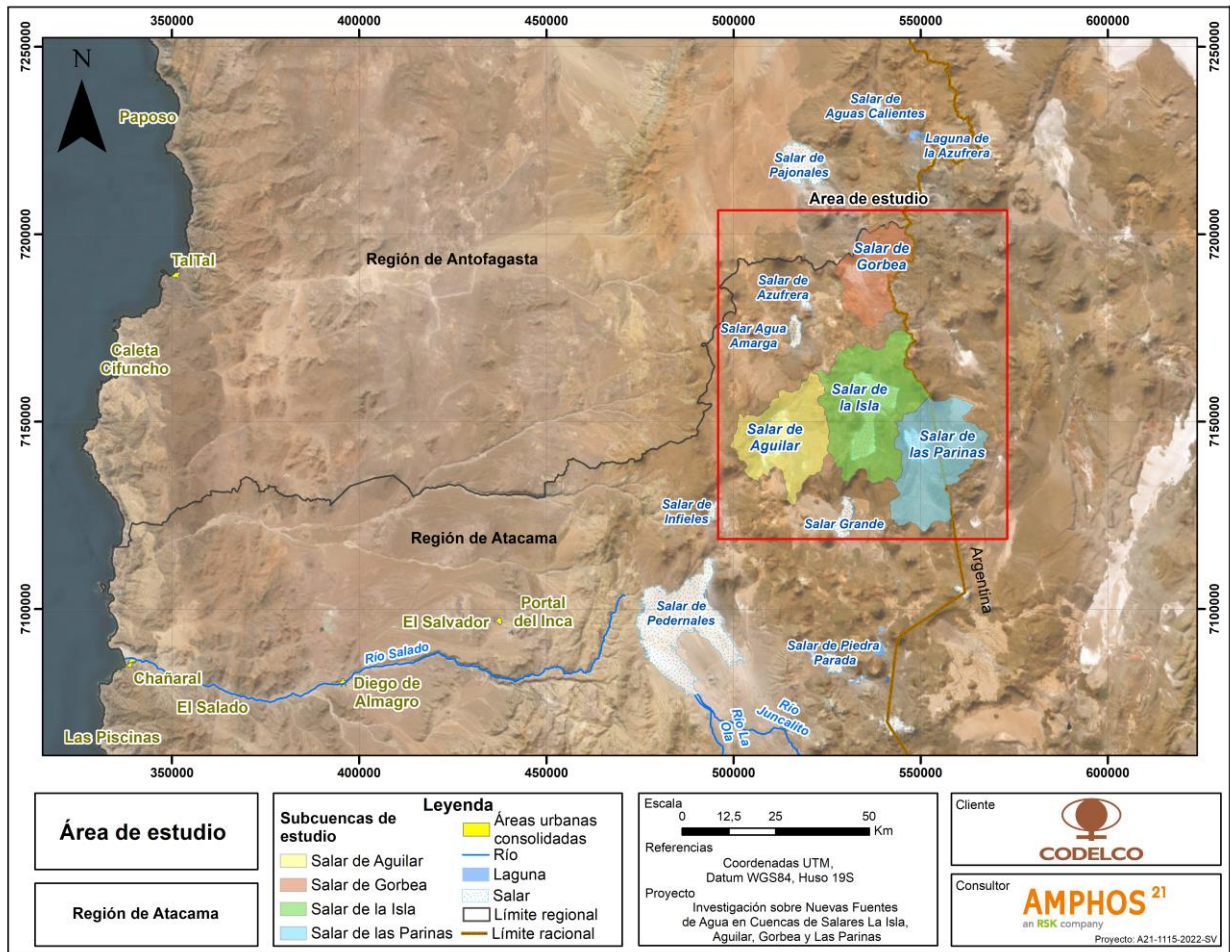


Figura 1-1: Ubicación geográfica salares La Isla, Aguilar, Gorbea y Las Parinas.

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 manera 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, antes de tomar la muestra 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, 6 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.

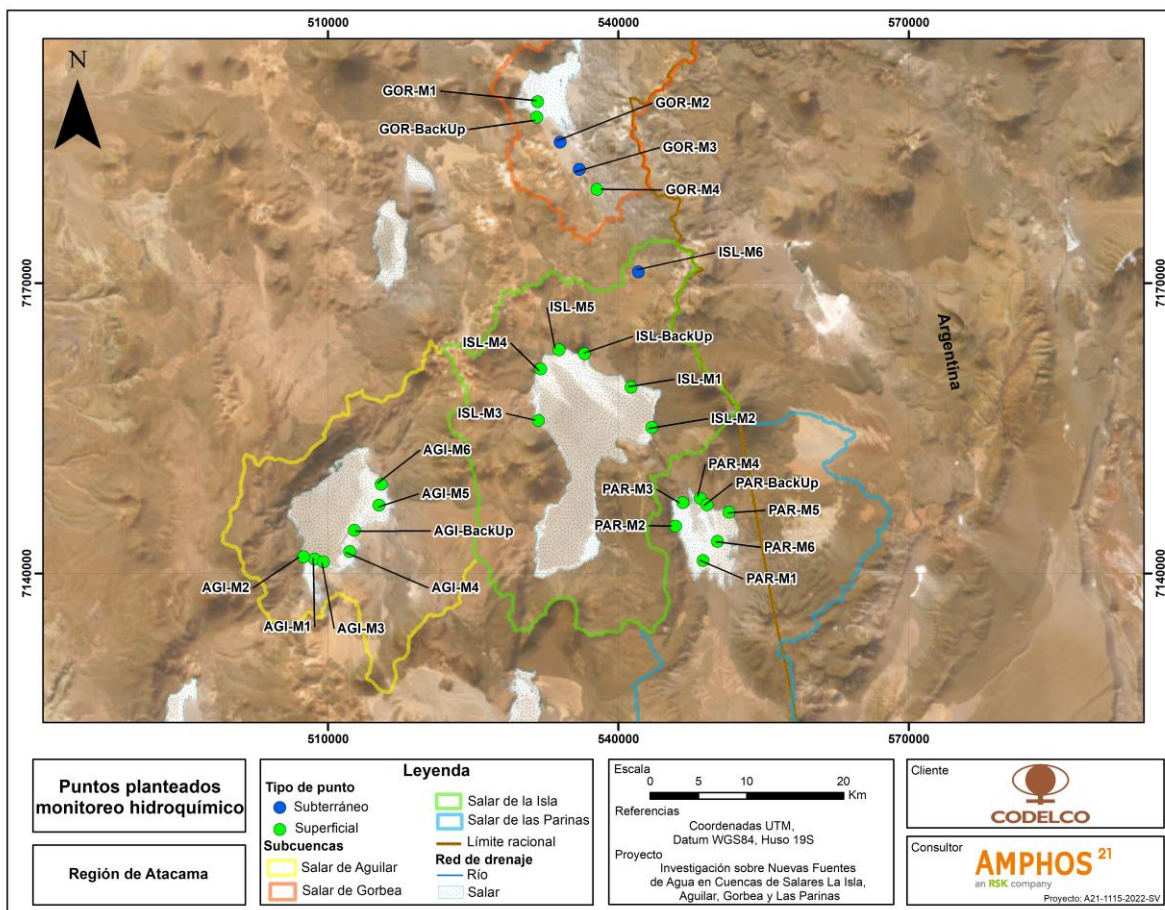


Figura 3-1: Ubicación de puntos planteados para el monitoreo hidroquímico.

La segunda campaña de terreno se desarrolló entre los días 26 de febrero y 6 de marzo de 2024 por personal de Amphos 21, contemplando un turno de 10x10, el cual se encuentra integrado por 3 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 y análisis hidroquímico en 22 puntos. Por su parte, el monitoreo isotópico se realizó en 25 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 26, considerando 1 duplicado.

3.1 Actividades de terreno

De forma específica y detallada, durante la segunda campaña de terreno se visitaron 10 puntos en el salar de Gorbea, donde se realizaron 5 ensayos de evaporación con domo y se tomaron 4 muestras para análisis hidroquímico e isotópico, una muestra adicional para análisis isotópico y 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, se tomaron 6 muestras para análisis hidroquímico e isotópico, una muestra duplicada de isótopos y una muestra de blanco.

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 e isotópico, una muestra para análisis isotópico adicional y una muestra duplicada de parámetros hidroquímicos.

Finalmente, respecto al salar de Las Parinas, se visitaron 12 puntos, 5 de estos corresponden a ensayos de evaporación con domo, y se realizan 6 muestras de agua para análisis hidroquímico e isotópico, una muestra para análisis isotópico adicional y una muestra duplicada de parámetros hidroquímicos.

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

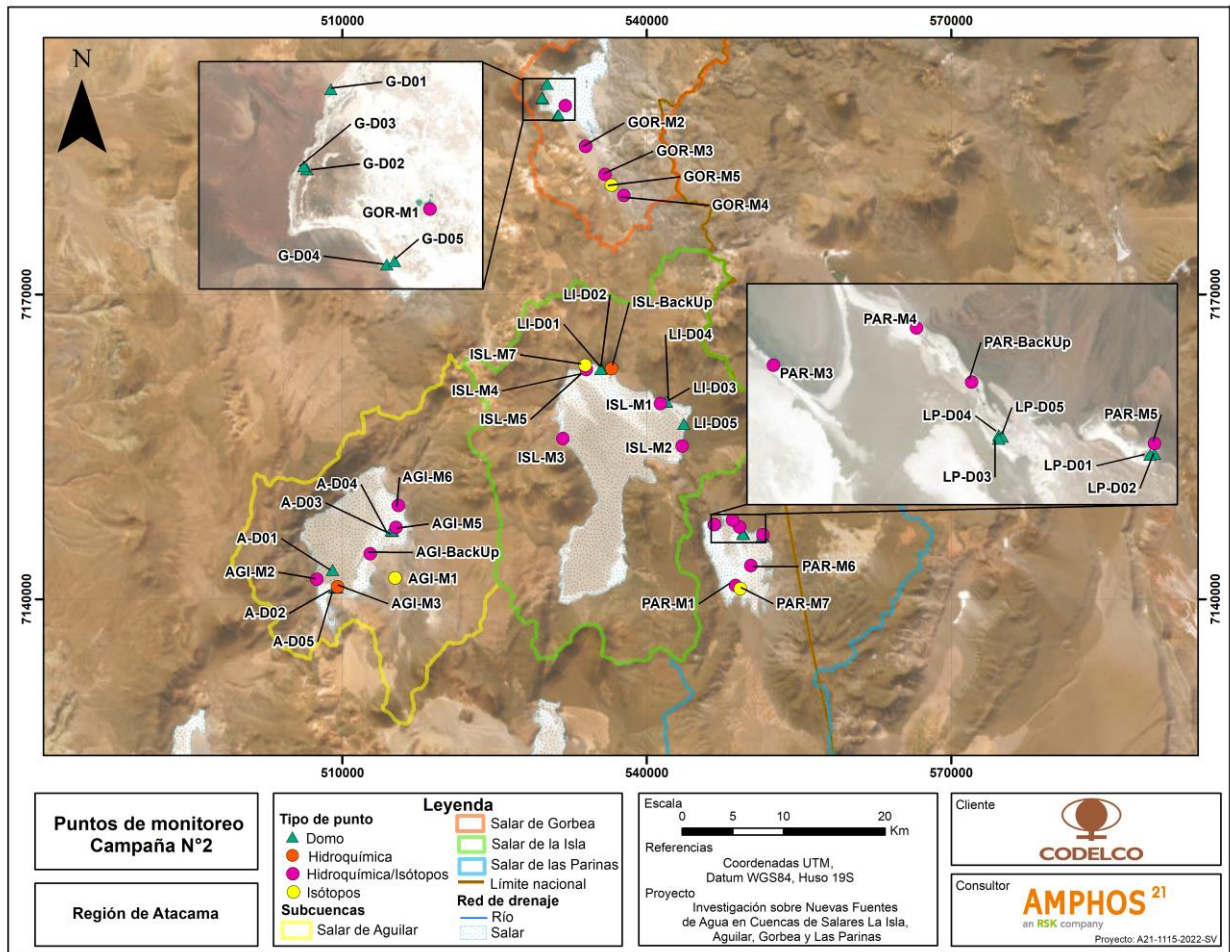


Figura 3-2: Distribución espacial de los puntos monitoreados durante la segunda campaña de terreno.

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

- **26 de febrero:** se realiza el traslado de equipos de trabajo y personal de Amphos 21 desde Santiago hacia Copiapó, donde se efectúa el retiro de la casa rodante y de las camionetas de trabajo. Luego, durante la tarde, se realiza el traslado hacia el salar de Gorbea.
- **27 de febrero:** se inician las actividades en el salar de Gorbea, con ensayos de evaporación en los puntos G-D02, G-D03, G-D04 y G-D05.

Los puntos G-D02 y G-D03 se posicionan sobre una costra salina mezclada con sedimento y arena. En ambos puntos el nivel freático es registrado a los 30 cm a través de una calicata. Respecto a las mediciones durante el ensayo, se registra una temperatura

máxima de 30,4°C y nubosidad que alcanza valores de hasta un 40%, no obstante, el domo percibe una radiación directa. En cuanto a la máxima velocidad de viento los puntos G-D02 y G-D03 alcanzan un valor de 10,8 y 15,8 km/h respectivamente.

Por su parte, los puntos G-D04 y G-D05 se ubican a 170 m de distancia, posicionados sobre evaporita delgada, la cual se encuentra mezclada con yeso, sedimento, ceniza volcánica y arena. El nivel freático del punto G-D04 se encuentra a los 40 cm (medido a través de una laguna artificial a 15 m del domo), mientras que el punto G-D05 presenta el nivel freático a los 25 cm, medido a través de una calicata ubicada a 7 m del domo. En ambos puntos se registra una temperatura máxima de 30° aproximadamente, con nubosidad entre 5% y 30%, no obstante, el domo percibe radiación directa. La Figura 3-3 muestra el ensayo de evaporación realizado en el punto G-D04.



Figura 3-3: Ensayo de evaporación en domo del punto G-D04 ubicado en el salar de Gorbea.

- **28 de febrero:** se realiza un ensayo de evaporación en el punto G-D01, localizado en el salar de Gorbea. Dicho domo se posiciona sobre evaporita con delgadas capas de yeso que sobreyacen a arcillas con arena. Se registra el nivel freático a los 45 cm. Durante el ensayo el domo presenta radiación directa y alcanza una temperatura entre 15,8°C y 27,4°C, con una velocidad de viento máxima por la tarde (22,1 km/h) disminuyendo, en consecuencia, el porcentaje de nubosidad.

Paralelamente, en dicho sector se realiza la medición de parámetros fisicoquímicos in situ y toma de muestras de agua para análisis hidroquímico e isotópico en los puntos GOR-M1, GOR-M2, GOR-M3 y GOR-M4, registrando conductividades de 133.130 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 2.328 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 3.424 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 24.820 $\mu\text{S}/\text{cm}$ respectivamente y los siguientes valores de pH: 1,77 (GOR-M1), 4,58 (GOR-M2), 7,87 (GOR-M3) y 7,8 (GOR-M4). Cabe señalar que en el punto de agua subterránea GOR-M2, se realiza un duplicado etiquetado como GOR-MD1. Además, se visita el punto de agua superficial GOR-M5, únicamente para la toma de muestra de agua para análisis isotópico y fisicoquímico in situ, cuya conductividad es de 3.580 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y pH de 6,3.

- **29 de febrero:** se efectúa el traslado desde el salar de Gorbea hacia el salar de La Isla, donde se realiza un ensayo de evaporación en los puntos LI-D03 y LI-D04, los cuales se distancian 15 m. En particular, el punto LI-D03 se posiciona sobre un terreno de evaporita delgada con una continua capa de arena fina realizando, además, una calicata a 3 m del punto de ensayo, donde se registra el nivel freático a los 2 cm. Por su parte, el punto LI-D04 se posiciona sobre evaporita mezclada con sedimentos y registra el nivel freático a los 2 cm mediante una calicata ubicada a 10 m del punto de ensayo. En general, en ambos puntos se alcanzan vientos de hasta 29 km/h por la tarde, con una temperatura máxima de 27°C y 0% de nubosidad.
- **1 de marzo:** se realiza un ensayo de evaporación en el salar de La Isla en los puntos LI-D01 y LI-D02, los cuales se distancian 80 m. El área donde se posicionan dichos domos se caracteriza por presentar una costra blanda, mezclada principalmente por halita, yeso y arena. Además, en ambos puntos se localiza el nivel freático a los 2 cm, mediante una calicata realizada a los 20 m del domo LI-D01 y a los 6 m del domo LI-D02. Respecto a la velocidad de viento registrada, en ambos puntos se alcanza el máximo a las 17:00 horas con valores de 31,5 km/h en el punto LI-D01 y 33,5 km/h en el punto LI-D02. En cuanto a la temperatura, el punto LI-D02 registra la máxima de 36,6°C, con escasa nubosidad parcial (máxima de 20%), mientras que el punto LI-D01 alcanza una temperatura máxima de 35,6°C, además registra una nubosidad parcial que va en aumento durante la tarde. La Figura 3-4 muestra el ensayo de evaporación realizado en el punto LI-D01.



Figura 3-4: Ensayo de evaporación en domo del punto LI-D01 ubicado en el salar de La Isla.

- **2 de marzo:** se realiza un ensayo de evaporación en el punto LI-D05, cuyo domo se instala sobre suelo cubierto principalmente por evaporita. Además, se realiza una calicata a los 24 m del punto de ensayo registrando el nivel freático a los 5 cm. En cuanto a las mediciones en el domo, se registran velocidades de viento entre 0 y 33 km/h, además de temperaturas entre 18 y 31,4°C, sin nubosidad parcial.

Adicionalmente, en el salar de La Isla se visitan 7 puntos en los que se toma una muestra de agua y, además, se miden parámetros fisicoquímico in situ. Al respecto, se analizarán parámetros hidroquímicos e isotópicos en 6 muestras (ISL-M1, ISL-M2, ISL-M3, ISL-M4, ISL-M5 e ISL-BackUp), mientras que en la muestra ISL-M7 únicamente se analizarán isótopos de agua, además, se realiza un duplicado (ISL-MD3) del punto ISL-BackUp, en el cual se medirán parámetros hidroquímicos. En cuanto a los parámetros fisicoquímicos medidos en terreno, se registran valores de conductividad entre 70.320 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 217.900 $\mu\text{S}/\text{cm}$, a excepción de los puntos ISL-BackUp e ISL-M7, cuyos valores son de 10.620 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 30.980 $\mu\text{S}/\text{cm}$ respectivamente, además, se registran valores de pH entre 5,01 y 8,02.

En paralelo, parte del equipo de trabajo se traslada hacia el salar de Las Parinas, donde se toman 6 muestras de agua para análisis hidroquímico e isotópico (PAR-BackUp,

PAR-M1, PAR-M3, PAR-M4, PAR-M5 y PAR-M6), una muestra para análisis isotópico (PAR-M7) y una muestra para análisis hidroquímico (PAR-MD2), esta última corresponde a un duplicado de la muestra PAR-M3. Cabe mencionar que se midieron parámetros fisicoquímicos in situ en todos los puntos visitados, registrando valores de conductividad entre 117.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 219.600 $\mu\text{S}/\text{cm}$, exceptuando las muestras de los puntos PAR-M5, PAR-M6 y PAR-M7, que presentan conductividades de 186 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 16.640 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 15.270 $\mu\text{S}/\text{cm}$ respectivamente. En cuanto al pH, las muestras del salar Las Parinas presentan valores entre 6,93 y 8,54. La Figura 3-5 muestra el monitoreo hidroquímico realizado en el punto PAR-M4.

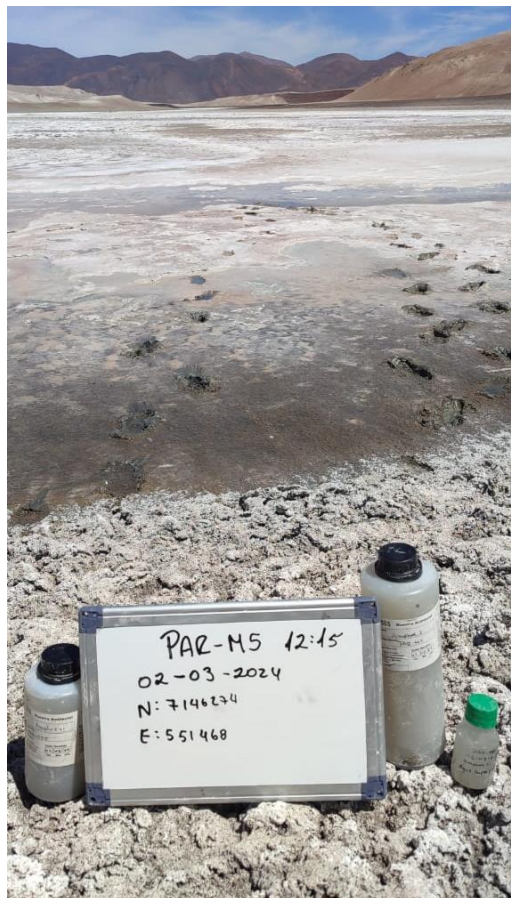


Figura 3-5: Monitoreo hidroquímico en punto de agua superficial PAR-M5 en el salar de Las Parinas.

- **3 de marzo:** se realizan ensayos de evaporación en los puntos LP-D02, LP-D01, LP-D04 y LP-D05 localizados en el salar de Las Parinas.

En particular, los puntos LP-D01 y LP-D02 se distancian 55 m aproximadamente, y se ubican sobre un terreno cubierto por costra salina y material sedimentario. En ambos

puntos se realiza una calicata para registrar el nivel freático, en el caso del punto LP-D01 lo registra a los 5 cm, mientras que en el punto LP-D02 a los 25 cm. En cuanto a la velocidad del viento, esta comienza a aumentar a las 11:00 hrs, alcanzando un valor máximo de 26 km/h por la tarde, además, ambos puntos registran una temperatura máxima de 27°C a las 15:00 hrs con una nubosidad máxima de 80% a las 14:00 hrs, periodo en el cual el domo no percibió radiación directa.

Por su parte, los puntos LP-D04 y LP-D05 se distancian 20 m aproximadamente. El punto LP-D04 se posiciona sobre costra mezclada con yeso y alita, mientras que el punto LP-D05 se posiciona sobre un terreno compuesto por sedimentos, arenas, gravas, cenizas y material no consolidado. En ambos puntos se realiza una calicata a 30 m del punto de ensayo registrando el nivel freático a los 5 cm. En cuanto a los resultados obtenidos del ensayo, en ambos puntos se registra una velocidad de viento máxima de 27 km/h y temperatura entre 6°C y 30°C. Además, entre las 14:30 y 15:30 hrs se registra una alta nubosidad entre 80% y 95%, impidiendo la radiación directa al domo.

- **4 de marzo:** se realiza un ensayo de evaporación en el punto LP-D03, ubicado en el salar de Las Parinas. Dicho punto se posiciona sobre costra salina mezclada con sedimentos y, además, se realiza una calicata a 5 m del punto de ensayo, registrando el nivel freático a los 30 cm. Respecto a las mediciones durante el ensayo, se alcanzan vientos de hasta 29 km/h y temperaturas entre 7,6°C y 29,4°C. El mayor porcentaje de nubosidad se percibe entre las 14:00 y 16:00 hrs con un porcentaje máximo de 80%, en consecuencia, el domo recibe levemente la radiación.

Adicionalmente, se visita el salar de Aguilar, donde se realizan ensayos de evaporación en los puntos A-D01, A-D02 y A-D05, los cuales se posicionan sobre costra salina de alta dureza y rugosidad. Desde una laguna cercana a los puntos de ensayo, se mide el nivel freático a los 5 cm. Respecto a la velocidad de viento, se deja constancia que a partir de las 12:00 hrs la velocidad comienza a aumentar en el transcurso de la jornada, alcanzando una velocidad de 30,4 km/h en el punto A-D05. En cuanto a la temperatura, en los tres domos se registra una máxima de 28°C con una nubosidad parcial que comienza a aumentar a las 12:00 hrs, alcanzando en promedio 30% durante el mediodía.

- **5 de marzo:** se efectúa un ensayo de evaporación en los puntos A-D04 y A-D03, distanciados a 115 m aproximadamente, en el salar de Aguilar. El punto A-D03 se ubica sobre costra salina frágil con presencia de yesos y halita, mientras que el punto A-D04 se posiciona sobre terreno cubierto en gran parte por sedimentos y yeso. En ambos puntos se registra el nivel freático a los 10 cm, medido desde una laguna cercana. En general,

en ambos puntos durante la mañana no se registra viento, sin embargo, desde las 13:30 hrs el viento comienza a aumentar alcanzando una máxima de 31,3 km/h en el punto A-D04. Como consecuencia de lo anterior, aumenta la nubosidad hasta un 60%, y en cuanto a la temperatura, esta alcanza un valor máximo de 36°C.

Adicionalmente, en el salar de Aguilar se toman 6 muestras de agua para análisis hidroquímico e isotópico en los puntos AGI-M1, AGI-M2, AGI-M3, AGI-BackUp¹, AGI-M5 y AGI-M6. Al respecto, se registran conductividades entre 132.400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 225.900 $\mu\text{S}/\text{cm}$, a excepción de los puntos AGI-M1 y AGI-M6, cuya conductividad es de 8.526 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 42.760 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En cuanto al pH, se registran valores entre 5,4 y 7,81. Cabe señalar que se toma una muestra de blanco para análisis hidroquímico (AGI-MB2) y una muestra duplicada para análisis isotópico (AGI-MD1) del punto AGI-M1. La Figura 3-6 muestra el monitoreo hidroquímico realizado en el punto AGI-M1.



Figura 3-6: Monitoreo hidroquímico en punto de agua subterránea AGI-M1 en el salar de Aguilar.

¹ Sustituye al punto AGI-M4 (Este: 512.240; Norte: 7.142.253), dado que dicho punto se encontraba seco. Cabe señalar que la muestra de laboratorio tiene como etiqueta AGI-M4.

- **6 de marzo:** se realiza el traslado de equipos y personal de Amphos 21 desde el salar de Aguilar hacia Copiapó. Posteriormente, se realiza el envío de equipos y muestras de monitoreo hidroquímico hacia Santiago. Luego, personal de Amphos 21 se traslada a su lugar de residencia, dando por finalizada la segunda 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°2. 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 segunda campaña.

Punto	Sector	Medición	Tipo de punto	Este WGS84 (*)	Norte WGS84 (*)	Fecha medición
G-D02	Salar de Gorbea	Domo	-	529.730	7.189.292	27-02-2024
G-D03	Salar de Gorbea	Domo	-	529.675	7.189.345	27-02-2024
G-D04	Salar de Gorbea	Domo	-	531.173	7.187.576	27-02-2024
G-D05	Salar de Gorbea	Domo	-	531.315	7.187.639	27-02-2024
G-D01	Salar de Gorbea	Domo	-	530.166	7.190.732	28-02-2024
GOR-M1	Salar de Gorbea	HQ/Isótopos	Superficial	531.954	7.188.574	28-02-2024
GOR-MD1	Salar de Gorbea	HQ	Subterráneo	533.967	7.184.571	28-02-2024
GOR-M2	Salar de Gorbea	HQ/Isótopos	Subterráneo	533.967	7.184.571	28-02-2024
GOR-M3	Salar de Gorbea	HQ/Isótopos	Subterráneo	535.877	7.181.803	28-02-2024
GOR-M4	Salar de Gorbea	HQ/Isótopos	Superficial	537.748	7.179.727	28-02-2024
GOR-M5	Salar de Gorbea	Isótopos	Superficial	536.518	7.180.742	28-02-2024
LI-D03	Salar de la Isla	Domo	-	541.927	7.159.417	29-02-2024
LI-D04	Salar de la Isla	Domo	-	541.922	7.159.432	29-02-2024
LI-D01	Salar de la Isla	Domo	-	535.523	7.162.704	01-03-2024
LI-D02	Salar de la Isla	Domo	-	535.477	7.162.629	01-03-2024
LI-D05	Salar de la Isla	Domo	-	543.661	7.157.234	02-03-2024
ISL-BackUp	Salar de la Isla	HQ/Isótopos	Superficial	536.500	7.162.673	02-03-2024
ISL-MD3	Salar de la Isla	HQ	Superficial	536.500	7.162.673	02-03-2024
ISL-M1	Salar de la Isla	HQ/Isótopos	Superficial	541.334	7.159.226	02-03-2024
ISL-M2	Salar de la Isla	HQ/Isótopos	Superficial	543.490	7.155.054	02-03-2024
ISL-M3	Salar de la Isla	HQ/Isótopos	Superficial	531.718	7.155.794	02-03-2024

Punto	Sector	Medición	Tipo de punto	Este WGS84 (*)	Norte WGS84 (*)	Fecha medición
ISL-M4	Salar de la Isla	HQ/Isótopos	Superficial	534.025	7.162.590	02-03-2024
ISL-M5	Salar de la Isla	HQ/Isótopos	Superficial	534.031	7.162.595	02-03-2024
ISL-M7	Salar de la Isla	Isótopos	Superficial	533.916	7.163.004	02-03-2024
PAR-BackUp	Salar de las Parinas	HQ/Isótopos	Superficial	549.142	7.147.094	02-03-2024
PAR-M1	Salar de las Parinas	HQ/Isótopos	Superficial	548.746	7.141.327	02-03-2024
PAR-MD2	Salar de las Parinas	HQ	Superficial	546.658	7.147.305	02-03-2024
PAR-M3	Salar de las Parinas	HQ/Isótopos	Superficial	546.658	7.147.305	02-03-2024
PAR-M4	Salar de las Parinas	HQ/Isótopos	Superficial	548.449	7.147.771	02-03-2024
PAR-M5	Salar de las Parinas	HQ/Isótopos	Superficial	551.431	7.146.323	02-03-2024
PAR-M6	Salar de las Parinas	HQ/Isótopos	Superficial	550.248	7.143.300	02-03-2024
PAR-M7	Salar de las Parinas	Isótopos	Superficial	549.222	7.141.028	02-03-2024
LP-D02	Salar de las Parinas	Domo	-	551.430	7.146.196	03-03-2024
LP-D01	Salar de las Parinas	Domo	-	551.376	7.146.185	03-03-2024
LP-D04	Salar de las Parinas	Domo	-	549.481	7.146.430	03-03-2024
LP-D05	Salar de las Parinas	Domo	-	549.524	7.146.409	03-03-2024
A-D01	Salar de Aguilar	Domo	-	509.016	7.142.868	04-03-2024
A-D02	Salar de Aguilar	Domo	-	509.249	7.141.110	04-03-2024
A-D05	Salar de Aguilar	Domo	-	509.483	7.141.162	04-03-2024
LP-D03	Salar de las Parinas	Domo	-	549.478	7.146.385	04-03-2024
A-D04	Salar de Aguilar	Domo	-	514.929	7.146.680	05-03-2024
A-D03	Salar de Aguilar	Domo	-	514.834	7.146.743	05-03-2024
AGI-M1	Salar de Aguilar	HQ/Isótopos	Subterráneo	515.182	7.142.080	05-03-2024
AGI-M2	Salar de Aguilar	HQ/Isótopos	Superficial	507.473	7.141.943	05-03-2024
AGI-M3	Salar de Aguilar	HQ/Isótopos	Superficial	509.519	7.141.191	05-03-2024
AGI-MB2	Salar de Aguilar	HQ	Superficial	509.519	7.141.191	05-03-2024
AGI-BackUp	Salar de Aguilar	HQ/Isótopos	Superficial	512.725	7.144.452	05-03-2024
AGI-M5	Salar de Aguilar	HQ/Isótopos	Superficial	515.269	7.147.056	05-03-2024
AGI-M6	Salar de Aguilar	HQ/Isótopos	Superficial	515.495	7.149.195	05-03-2024
AGI-MD1	Salar de Aguilar	Isótopos	Superficial	515.182	7.142.080	05-03-2024

(*) Coordenadas tomadas en terreno con GPS Garmin.

4 Resultados de análisis hidroquímico e isotópico

Durante la segunda campaña de terreno se visitaron un total de 25 puntos, de los cuales en 22 puntos se tomaron muestras de agua para un monitoreo hidroquímico e isotópico, mientras que en 3 puntos únicamente se tomó muestra para el monitoreo isotópico.

Posteriormente, 26 muestras, incluyendo 3 duplicados (GOR-MD1, PAR-MD2 y ISL-MD3) y un blanco (AGI-MB2), 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), 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.

Asimismo, 26 muestras de agua, incluyendo un duplicado (AGI-MD1), fueron enviadas al laboratorio certificado IT2 Isotope Tracer Technologies, localizado en Canadá, para el análisis isotópico de la molécula de agua.

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 segunda 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 segunda 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-M1 (*)	717	208,9	28.614,65	173.102,58	<0,2	209.089	874	3.366,71	93,45	4.766,91	47.025,12	385,84	6,3	229.920	308,03
AGI-M2	622,9	143,96	44.252,78	211.998,09	<0,2	216.387	759,4	2.065,88	88,86	5.980,64	50.255,18	598,19	5,6	290.200	142,2
AGI-M3	715,9	142,21	45.281,81	217.686,53	<0,2	221.836	872,7	2.512,48	93,17	6.087,47	49.197,38	690,72	5,7	269.200	130,61
AGI-M4 (**)	411,8	58,81	12.374,43	57.550,03	<0,2	124.674	502	1.025	25,72	1.748,84	18.458,17	181,15	7,4	89.900	1.013,67
AGI-M5	401,4	77,35	26.888,41	102.492,08	<0,2	172.315	489,3	1.453,51	42,4	3.639,57	29.089,88	310,76	6,8	138.920	486,39
AGI-M6	76,7	13	3.830,27	16.276,49	<0,2	38.911	93,5	223,89	5,48	516,56	4.430,15	43,67	7,6	34.740	1.155,5
AGI-MB2	5,8	<0,01	1,2	0,39	<0,2	6.657	7,0	0,13	<0,01	0,17	4,13	0,15	6,7	4.056	0,13
GOR-M1	<0,2	293,99	306,32	152.538,32	<0,2	124.141	<0,2	4.655,33	61,39	24.213,68	46.778,51	28,92	1,6	122.750	90.221,41
GOR-M2	<0,2	0,36	406,52	54,22	<0,2	2.355	<0,2	17,23	0,04	32,86	91,85	0,17	4,3	2.120	1.414,8
GOR-M3	4,7	0,73	464,12	201,5	<0,2	3.320	5,7	42,99	0,18	88,25	224,49	1,81	5,3	2.900	1.909,47
GOR-M4	<0,2	7,44	435,37	1.743,96	<0,2	20.087	<0,2	838,65	0,69	1.307,4	3.186,1	8	3,3	19.520	16.241,12
GOR-MD1	2,5	0,64	412,27	60,46	<0,2	2.639	3,1	17,81	0,03	33,33	92,1	0,75	4,7	12.480	1.444,1
ISL-BACKUP	37,1	1,48	107,16	2.984,86	<0,2	10.873	45,2	133,33	2,95	80,71	1.815,6	9,58	7	20.400	510,66
ISL-M1	251,5	84,63	338,4	187.548,18	<0,2	225.551	306,6	8.950,27	262,35	6.464,68	79.573,65	88,7	6,8	255.240	14.103,98
ISL-M2	79,3	19,06	157,77	62.028,09	<0,2	117.418	96,6	2.237,39	55,62	1.511,05	28.505,49	50,8	7,5	94.900	3.578,95
ISL-M3	155,6	61,81	396,76	191.148,05	<0,2	223.285	189,7	6.241,75	197,86	4.467,62	81.276,31	68,46	6,8	250.920	9.576,94
ISL-M4	80,3	<0,01	699,59	27.336,4	<0,2	54.033	97,9	1.082,59	<0,01	714,17	14.827,81	7,46	8	43.500	1.986,78
ISL-M5	359,2	36,65	1.450,47	79.397,8	<0,2	158.508	437,9	3.377,91	76,04	2.167,46	47.214	<0,01	7,8	118.580	8.757,85
ISL-MD3	25,9	1,47	109,33	3.048,07	<0,2	10.225	31,6	132,33	2,94	80,57	1.852,05	9,57	7,7	20.580	503,34
PAR-BACKUP	769,2	76,55	419,24	170.592,26	<0,2	210.363	937,7	3.563,88	58,21	2.150,84	78.179,94	<0,01	7,5	220.740	9.781,77
PAR-M1	668,3	38,62	252,04	65.420,24	185,8	116.534	437	1.627,59	21,83	883,97	33.876,78	<0,01	8,5	89.240	4.881,95
PAR-M3	794,1	143,42	518,22	207.827,83	<0,2	216.120	968	8.493,43	126,51	5581,4	99.987,26	20,09	7,2	271.920	16.441,89

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	477,4	54,54	253,77	112.796,16	<0,2	174.415	581,9	3.017	46,54	1.663,06	47.499,68	<0,01	7,9	154.060	7.058,82
PAR-M5	690	54,21	1.402,38	136.556,49	<0,2	182.433	841,1	2.519,79	36,79	1.628,72	64.179,11	<0,01	7,7	164.080	6.344,65
PAR-M6	186,6	3,34	94,96	5.971,55	<0,2	16.345	227,5	140,81	1,79	81,11	3.157,14	11,9	8,3	11.960	455,54
PAR-MD2	776,4	143,36	446,04	206.024,14	<0,2	204.766	946,5	7.364,84	126,72	4.827,6	84.038,61	42,62	7,2	267.960	17.281,91

(*) Los resultados de la muestra AGI-M1 presenta concentraciones superiores a las registradas en la Campaña N°1, por lo que los resultados de esta campaña se comprobarán con los de la campaña siguiente.

(**) Corresponde al punto AGI-BackUp, sin embargo, el etiquetado de la muestra al laboratorio llegó como AGI-M4.

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

Nombre punto	$\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ (‰)	$\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}$ (‰)
AGI-M1	8,26	-2,97
AGI-M2	4,67	-17,91
AGI-M3	3,42	-22,04
AGI-M4 (*)	6,95	-5,25
AGI-M5	6,56	-6,74
AGI-M6	1,79	-18,94
AGI-MD1	7,21	-1,68
GOR-M1	7,89	-2,90
GOR-M2	-7,87	-66,58
GOR-M3	-7,23	-65,11
GOR-M4	7,64	6,16
GOR-M5	-6,78	-63,50
ISL-BACKUP	-8,61	-69,75
ISL-M1	6,55	-10,48
ISL-M2	-4,34	-51,83
ISL-M3	3,95	-19,03
ISL-M4	-0,07	-30,81
ISL-M5	9,36	9,20
ISL-M7	0,60	-34,38
PAR-BACKUP	6,59	-12,64
PAR-M1	5,93	-4,05
PAR-M3	7,95	-4,72
PAR-M4	4,29	-21,43
PAR-M5	6,66	-13,67
PAR-M6	-7,82	-68,54
PAR-M7	-5,66	-61,95

(*) Corresponde al punto AGI-Backup, sin embargo, el etiquetado de la muestra al laboratorio llegó como AGI-M4.

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) 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-M1	9,93
AGI-M2	9,22
AGI-M3	10,29
AGI-M4 (*)	1,39
AGI-M5	0,96
AGI-M6	5,32
AGI-MD4	4,58
GOR-M1	18,51
GOR-M2	6,13
GOR-M3	4,95
GOR-M4	14,18
GOR-MD1	6,84
ISL-BACKUP	0,72
ISL-M1	13,05
ISL-M2	11,75
ISL-M3	15,10
ISL-M4	3,03
ISL-M5	0,36
ISL-MD3	0,58
PAR-BACKUP	14,99
PAR-M1	9,68
PAR-M3	9,81
PAR-M4	18,11
PAR-M5	12,96
PAR-M6	8,83
PAR-MD2	17,76

(*) Corresponde al punto AGI-BackUp, sin embargo, el etiquetado de la muestra al laboratorio llegó como AGI-M4.

5 Resultados ensayos de evaporación

En el presente capítulo se entregan las series de evaporación diarias obtenidas a través del método del domo por salar.

En la Figura 5-1 que expone los resultados de evaporación de los ensayos realizados en el salar de Gorbea, se observa que los domos realizados el 27 de febrero de 2024 presentan evaporaciones del mismo orden de magnitud, diferenciándose así del domo G-D01, que se realiza el 28 de febrero.

Al revisar los tipos de suelo sobre los que se ensayan los domos y las condiciones atmosféricas, se concluye que estos dos factores no explicarían esta diferencia, por lo que se cree que la diferencia podría deberse a la forma en que se libera agua de zonas más profundas del suelo, dado que se poseen antecedentes de que llovió en días anteriores. Por lo tanto, el domo G-D01 estaría influenciado por precipitaciones, no así, el resto de los ensayos.

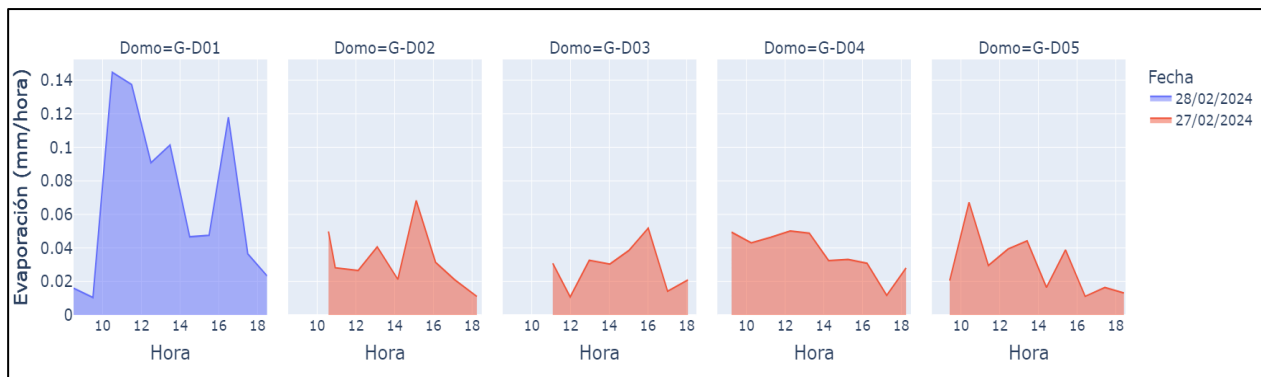


Figura 5-1: Series diarias de ensayos de evaporación de domos en el salar de Gorbea.

En la Figura 5-2 se presentan los resultados de evaporación para el salar de La Isla. Tal como se puede observar, a pesar de que los ensayos se realizaron en días distintos, la evaporación diaria es semejante. Por lo tanto, es posible validar estos ensayos como ensayos representativos del salar y de la época del año en que se realizan, a pesar de que el 1 de marzo se produjeron precipitaciones menores en el sector.

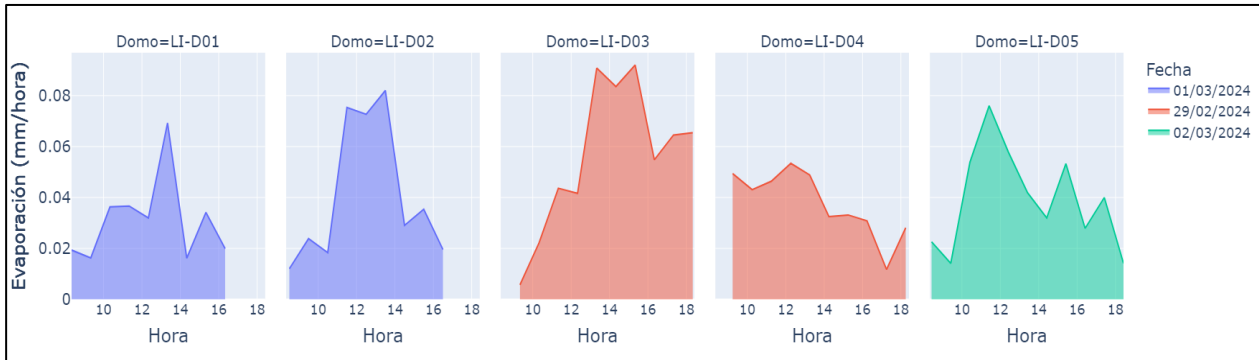


Figura 5-2: Series diarias de ensayos de evaporación de domos en el salar de La Isla.

La Figura 5-3 muestra los resultados de evaporación de los ensayos de domos realizados en el salar de Las Parinas. Al respecto, es importante mencionar que los ensayos realizados en el domo LP-D04, si bien han sido analizados e incluidos en la Figura 5-3, presentaron un comportamiento anormal lo que genera una mayor incertidumbre en su interpretación, por lo tanto, se recomienda descartarlo para cálculos posteriores.

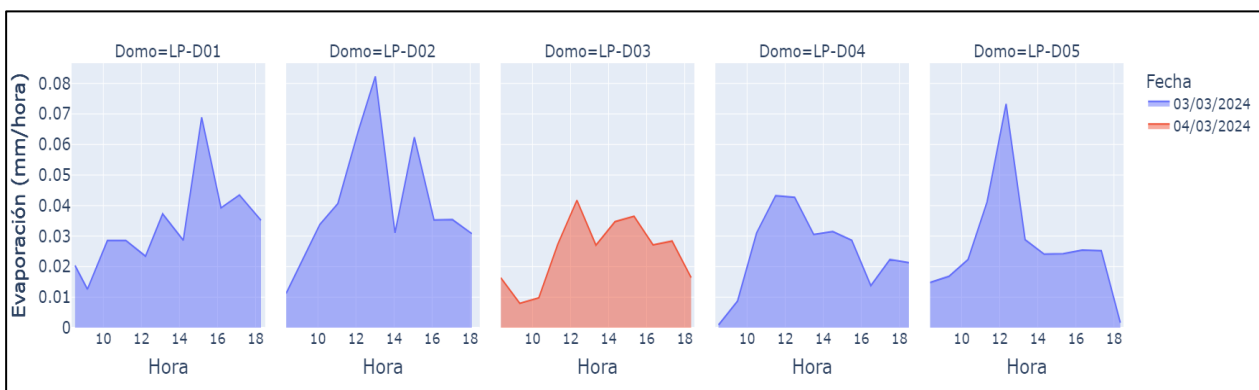


Figura 5-3: Series diarias de ensayos de evaporación de domos en el salar de Las Parinas.

Los resultados de evaporación por la técnica del domo para el salar de Aguilar se presentan en la Figura 5-4. La explicación de por qué los resultados de los ensayos de domos fueron superiores el día 5 de marzo radica en que en este día se registraron mayores temperaturas según los registros de terreno.

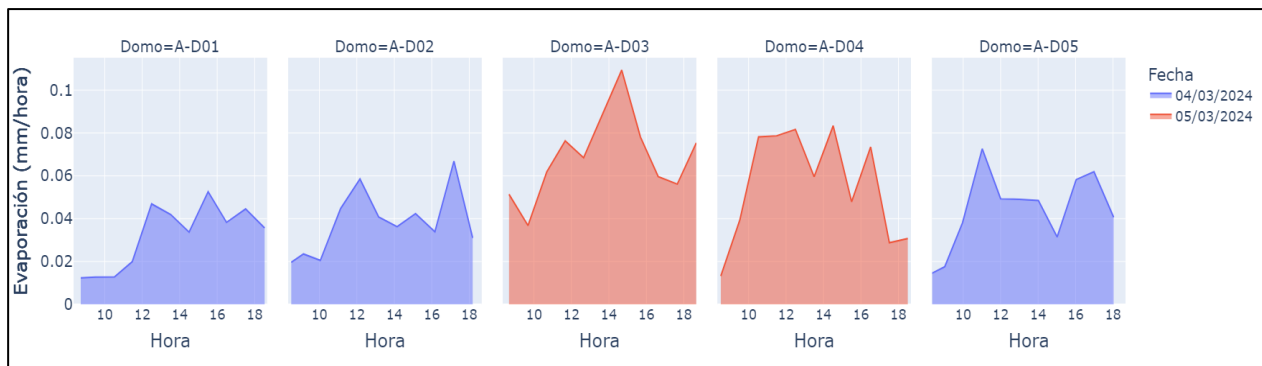


Figura 5-4: Series diarias de ensayos de evaporación de domos en el salar de Aguilar.

Anexo A. Fichas técnicas de medición de evaporación en domos (Campaña N°2)

Anexo B. Fichas técnicas de monitoreo hidroquímico (Campaña N°2)

Anexo C. Informes de resultados de análisis de laboratorio