

Nota Técnica N°02: Medición de evaporación y monitoreo hidroquímico Campaña N°1

Campaña de monitoreo trimestral (diciembre 2023)

07-05-2024

Versión 0

A21_1115_NT02_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 primera campaña de terreno, entre los meses de diciembre 2023 y enero 2024, la cual consiste en el levantamiento de información a través de un monitoreo hidroquímico 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 correspondiente a la primera de las campañas trimestrales comprometidas (Campaña N°1).

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.

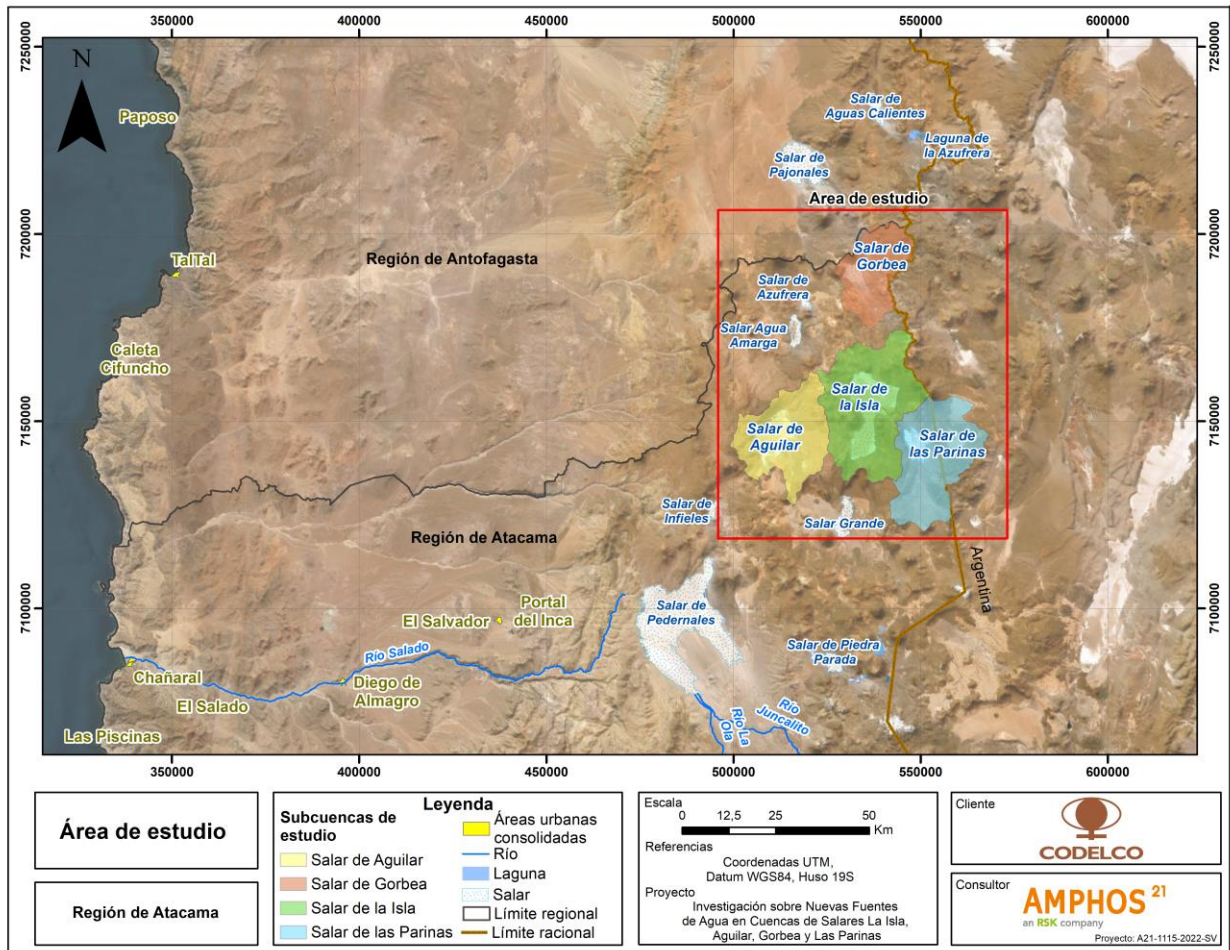


Figura 1-1: Ubicación geográfica salares La Isla, Aguilar, Gorbea y Las Parinas.

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

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 desciende 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.

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 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.

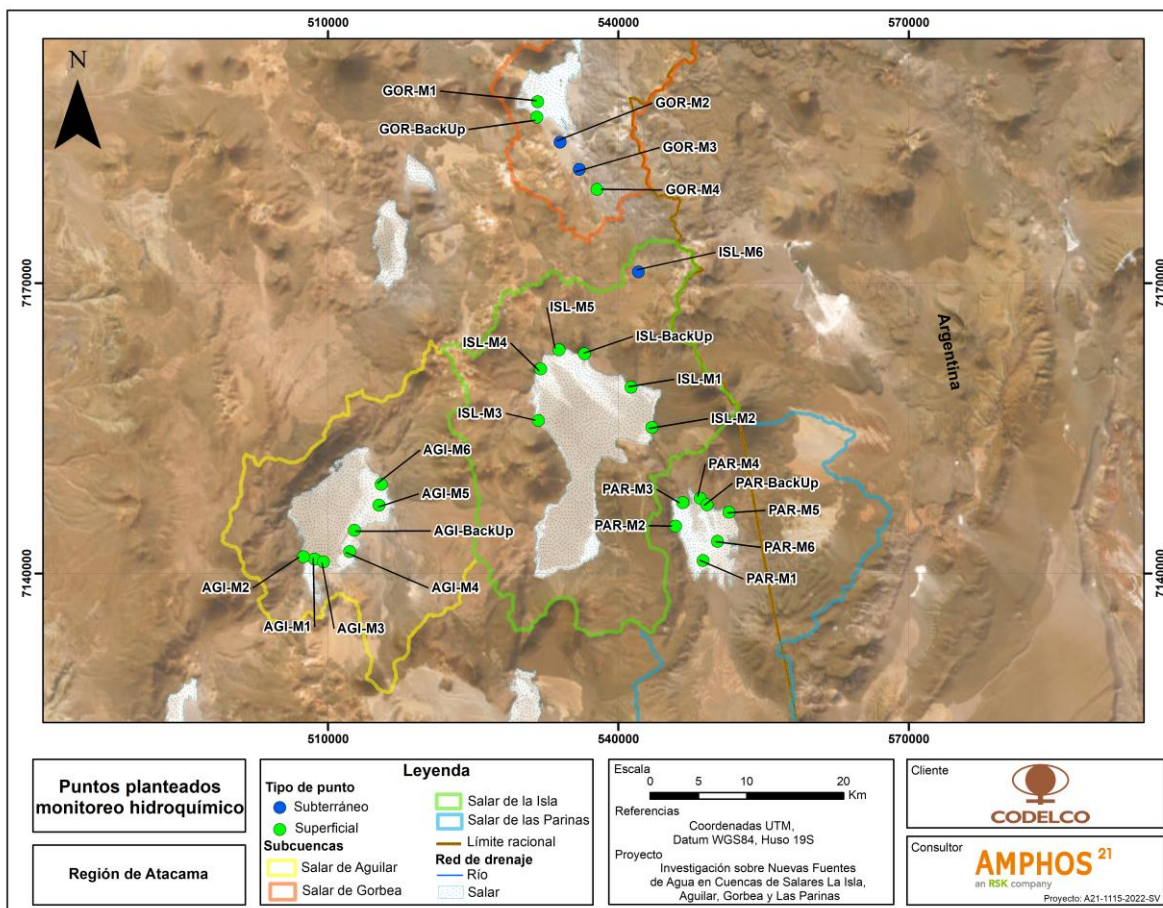


Figura 3-1: Ubicación de puntos planteados para el monitoreo hidroquímico.

La primera campaña de terreno se desarrolló entre los días 11 de diciembre de 2023 y 11 de enero de 2024 por personal de Amphos 21, contemplando dos turnos de 10x10, donde cada uno se encuentra integrado por 3 personas, dos camionetas 4x4 (traslado y apoyo), una casa rodante para pernoctar, equipos de toma de muestras hidroquímicas, y dos 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 fisicoquímico in situ y análisis hidroquímico en 22 puntos. Respecto al análisis hidroquímico, en específico, en cada cuenca se visitaron 6 puntos, salvo en la cuenca Salar de Gorbea, donde se visitaron 4 puntos de monitoreo (según los compromisos establecidos).

Cabe mencionar que el total de muestras analizadas corresponde a 26, teniendo en cuenta 3 duplicados y un blanco como control de calidad.

3.1 Actividades de terreno primer turno

El primer turno fue realizado entre los días 11 y 21 de diciembre de 2023, periodo en cual se desarrolló un monitoreo hidroquímico en el salar de Gorbea (4 puntos), salar de Aguilar (6 puntos) y salar de La Isla (3 puntos). Además, en el salar de Aguilar se efectuaron 5 mediciones de evaporación con domos. La Figura 3-2 ilustra la ubicación espacial de los puntos monitoreados durante el primer turno de esta campaña.

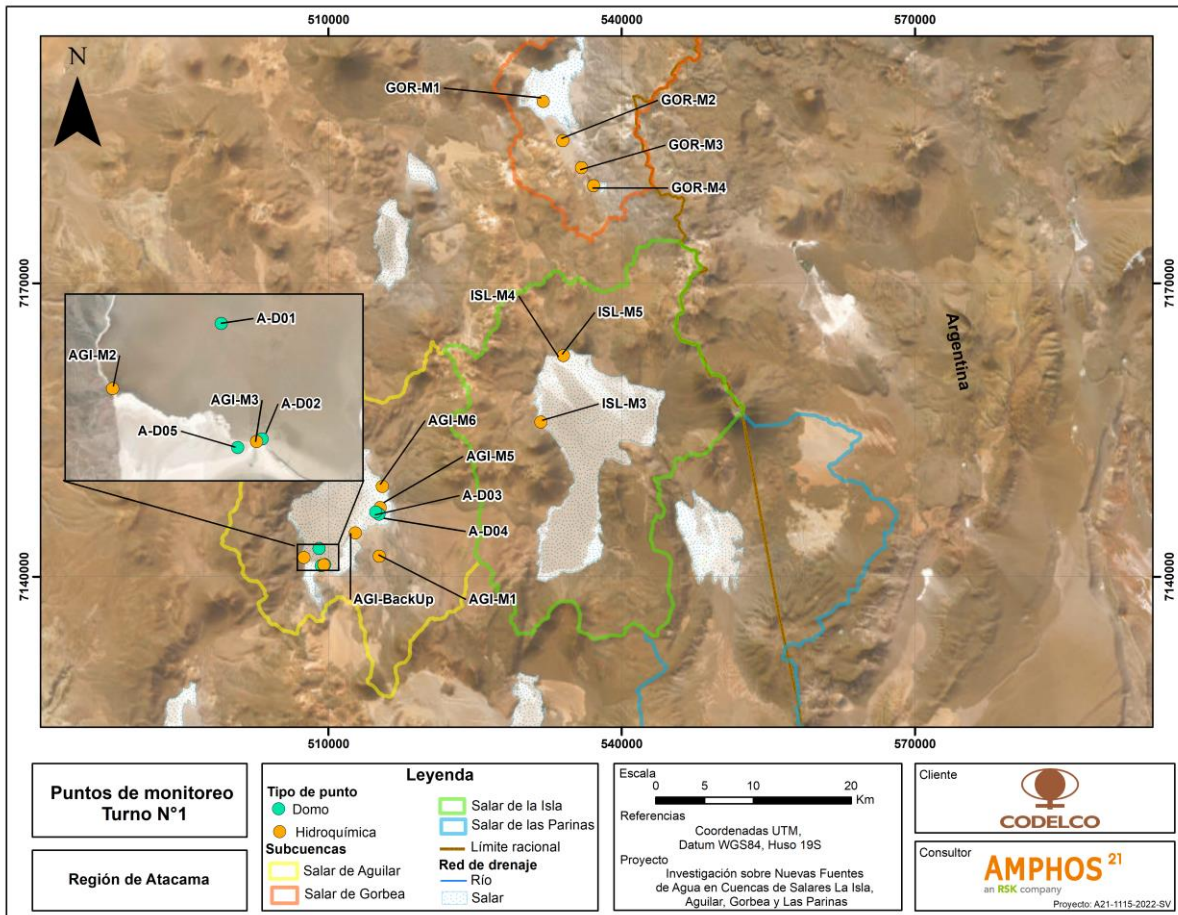


Figura 3-2: Distribución espacial de los puntos monitoreados durante el primer turno.

De acuerdo con lo mencionado anteriormente, a continuación, se presenta el detalle de las actividades realizadas diariamente durante el primer turno.

- **11 de diciembre:** 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 Aguilar.
- **12 de diciembre:** se inician las actividades en el salar de Aguilar, en primer lugar, se realiza ensayo de evaporación en los puntos A-D02 y A-D05. El área de trabajo presenta costra salina de alta dureza y relieve considerable. Por otro lado, en el punto A-D02 se realiza calicata de 25 cm a una distancia de 1,5 m desde el punto de ensayo, así mismo, en el punto A-D05 se realiza calicata de 53 cm de profundidad, sin embargo, en dichos puntos no fue identificado el nivel de agua, por lo que se realiza la medición en una laguna

localizada a una distancia menor a 350 m, registrando un valor de 10 cm. En general, en ambos puntos se registran velocidades de viento menores a 30 km/h, con temperaturas que varían entre 9,8°C (mañana) y 34°C (mediodía), y 0% de nubosidad.

Adicionalmente, en el salar de Aguilar se miden parámetros fisicoquímicos in situ y se toma una muestra de agua para análisis hidroquímico en los puntos AGI-M1¹, AGI-M2, AGI-M3, AGI-BackUp², AGI-M5 y AGI-M6. Cabe señalar que únicamente el punto AGI-M1 corresponde a una muestra de agua subterránea. Los resultados de los parámetros fisicoquímicos in situ indican que los puntos AGI-M4, AGI-M3, AGI-M2 y AGI-M5 registran conductividades del orden de los 100.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y valores de pH entre 5 y 6 upH. Por su parte, los puntos AGI-M6 y AGI-M1 registran valores de conductividad eléctrica de 36.770 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 3.129 $\mu\text{S}/\text{cm}$, respectivamente y valores de pH de 7,6 upH en ambos puntos. La Figura 3-3 muestra el monitoreo hidroquímico realizado en el punto AGI-M5.



Figura 3-3: Monitoreo hidroquímico en punto de agua superficial AGI-M5 en el salar de Aguilar.

¹ Punto AGI-M1 (Este: 508.612; Norte: 7.141.465) se encontraba seco, por lo que fue reemplazado por un punto de agua subterránea ubicado al este (conservando el mismo nombre).

² 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.

- **13 de diciembre:** se realiza ensayo de evaporación en los puntos A-D04 y A-D03. En particular, el punto A-D03 se posiciona sobre un terreno de costra salina frágil de color blanco, además, se efectúa una calicata de 32 cm de profundidad a 5 m del punto de ensayo, sin encontrar agua. Sin embargo, se mide el nivel freático en una laguna ubicada a 150 m desde el punto de ensayo, registrando un valor de 35 cm. En cuanto al punto A-D04, se posiciona sobre un terreno compuesto por material de relleno sedimentario y no se registra el nivel freático, dado que en los alrededores no hay presencia de agua. En general, en ambos puntos se alcanzan vientos de hasta 23 km/h por la tarde, con una temperatura máxima de 34°C y 0% de nubosidad.
- **14 de diciembre:** se efectúa ensayo de evaporación en el punto A-D01, cuya área de ensayo presenta costra salina de alta dureza y rugosidad de color café, además, se mide el nivel freático en laguna ubicada a una distancia de 1,5 km desde el punto de ensayo, registrando un valor de 10 cm. Durante la mañana, hasta el mediodía, se registra nubosidad parcial de 0 a 40%, cuyo porcentaje disminuye a 0% por la tarde. La velocidad del viento aumenta gradualmente durante la jornada, con velocidades promedio de 9 km/h posterior a las 12:15 hrs. La temperatura registrada varió de 13°C por la mañana a 32,1°C, máxima temperatura registrada a las 14:14 hrs.
- **15 de diciembre:** se efectúa el traslado desde el salar de Aguilar hacia el salar de Gorbea, localizado al norte de la cuenca homónima.
- **16 de diciembre:** durante el traslado hacia el salar de Gorbea, la casa rodante presenta problemas con la rueda derecha, producto del quiebre del eje longitudinal, dado que las condiciones del camino son irregulares. En consecuencia, al día siguiente, la casa rodante es retirada y transportada hacia Santiago mediante un camión grúa, para su mantención y reparación correspondiente.
- **17 de diciembre:** durante el mediodía se inician las actividades en el salar de Gorbea. Al respecto, se realiza la medición de parámetros fisicoquímicos in situ y toma de muestras de agua para análisis hidroquímico en el punto de agua superficial GOR-M1 y en el punto de agua subterráneo GOR-M4³, registrando valores de conductividad de 129.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 93.870 $\mu\text{S}/\text{cm}$ respectivamente, y valores de pH de 1,77 upH en el punto GOR-M1 y

³ Originalmente el punto GOR-M4 era superficial, sin embargo, se prioriza muestrear un punto de agua subterránea (conservando la misma etiqueta).

7,55 upH en el punto GOR-M4. Las Figura 3-4 y Figura 3-5 muestran el monitoreo hidroquímico realizado en el punto GOR-M1 y GOR-M4 respectivamente.

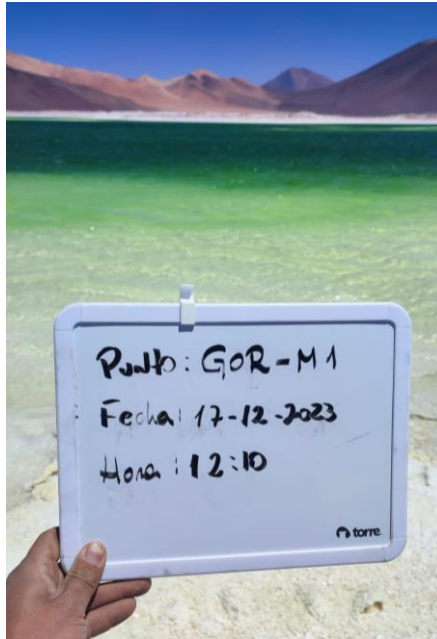


Figura 3-4: Monitoreo hidroquímico en punto de agua superficial GOR-M1 en el salar de Gorbea.



Figura 3-5: Monitoreo hidroquímico en punto de agua subterráneo GOR-M4 en el salar de Gorbea.

- **18 de diciembre:** durante la mañana se visitaron 2 puntos en el salar de Gorbea, donde se realiza la medición de parámetros fisicoquímicos in situ y toma de muestras de agua para análisis hidroquímico en el pozo GOR-M2, cuya conductividad es de 2.451 $\mu\text{S/cm}$ y pH de 4,58 upH. Además, se monitorea el punto de agua superficial GOR-M3, registrando conductividades de 97.630 $\mu\text{S/cm}$, y pH de hasta 7,98 upH.

Posteriormente, durante la tarde, se realiza el monitoreo hidroquímico en el salar de La Isla, donde se visitan los puntos de agua superficial ISL-M3, ISL-M4⁴ y ISL-M5. Al respecto, se registran conductividades de 2.052 $\mu\text{S/cm}$, 2.650 $\mu\text{S/cm}$ y 2.994 $\mu\text{S/cm}$ respectivamente y los siguientes valores de pH: 6,59 upH (ISL-M3), 5,31 upH (ISL-M4) y 2.994 upH (ISL-M5).

- **19 de diciembre:** al iniciar la jornada, la camioneta DSAL-CAMI-T34 presenta problemas de fuga en el líquido del sistema hidráulico, imposibilitando la conducción de esta. Posteriormente, el líquido filtrado es recogido y depositado en bolsas, para luego ser transportado y desechado. Luego, la camioneta es retirada y transportada por un camión grúa hacia Antofagasta para su reparación.
- **20 de diciembre:** se realiza el envío de materiales y muestras desde Copiapó hacia Santiago. Luego, el personal de Amphos 21 retorna a sus domicilios, dando por finalizado el turno.

A modo de resumen, en la Tabla 3-1, se presentan las principales características y fechas de medición de los puntos monitoreados durante el primer turno de la Campaña N°1. 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.

Tabla 3-1: Características de puntos monitoreados durante el primer turno.

Punto	Sector	Medición	Tipo de punto	Este WGS84 (*)	Norte WGS84 (*)	Fecha medición
A-D02	Salar de Aguilar	Domo	-	509.598	7.141.229	12-12-2023
A-D05	Salar de Aguilar	Domo	-	509.251	7.141.105	12-12-2023
AGI-M1	Salar de Aguilar	Hidroquímica	Subterráneo	515.182	7.142.080	12-12-2023

⁴ Se traslada hacia al noreste, debido a la dificultad para acceder al punto original (Este: 531.982; Norte: 7.161.133).

Punto	Sector	Medición	Tipo de punto	Este WGS84 (*)	Norte WGS84 (*)	Fecha medición
AGI-M2	Salar de Aguilar	Hidroquímica	Superficial	507.473	7.141.943	12-12-2023
AGI-M3	Salar de Aguilar	Hidroquímica	Superficial	509.519	7.141.191	12-12-2023
AGI-BackUp	Salar de Aguilar	Hidroquímica	Superficial	512.725	7.144.452	12-12-2023
AGI-M5	Salar de Aguilar	Hidroquímica	Superficial	515.269	7.147.056	12-12-2023
AGI-M6	Salar de Aguilar	Hidroquímica	Superficial	515.495	7.149.195	12-12-2023
A-D04	Salar de Aguilar	Domo	-	515.155	7.146.382	13-12-2023
A-D03	Salar de Aguilar	Domo	-	514.826	7.146.598	13-12-2023
A-D01	Salar de Aguilar	Domo	-	509.016	7.142.868	14-12-2023
GOR-M1	Salar de Gorbea	Hidroquímica	Superficial	531.954	7.188.574	17-12-2023
GOR-M4	Salar de Gorbea	Hidroquímica	Subterráneo	537.120	7.179.955	17-12-2023
GOR-M2	Salar de Gorbea	Hidroquímica	Subterráneo	533.967	7.184.571	18-12-2023
GOR-M3	Salar de Gorbea	Hidroquímica	Subterráneo	535.877	7.181.803	18-12-2023
ISL-M3	Salar de la Isla	Hidroquímica	Superficial	531.718	7.155.794	18-12-2023
ISL-M4	Salar de la Isla	Hidroquímica	Superficial	534.025	7.162.590	18-12-2023
ISL-M5	Salar de la Isla	Hidroquímica	Superficial	534.031	7.162.595	18-12-2023

(*) Coordenadas tomadas en terreno con GPS Garmin.

3.2 Actividades de terreno segundo turno

El segundo turno fue realizado entre los días 2 y 11 de enero de 2024, periodo en el cual se desarrolló un monitoreo hidroquímico en el salar de Las Parinas (6 puntos), y salar de La Isla (3 puntos). Además, se efectuaron ensayos de evaporación con domos en el salar de Gorbea (5 puntos), salar de La Isla (5 puntos), y salar de Las Parinas (5 puntos). La Figura 3-6 ilustra la ubicación espacial de los puntos monitoreados durante el segundo turno de esta campaña.

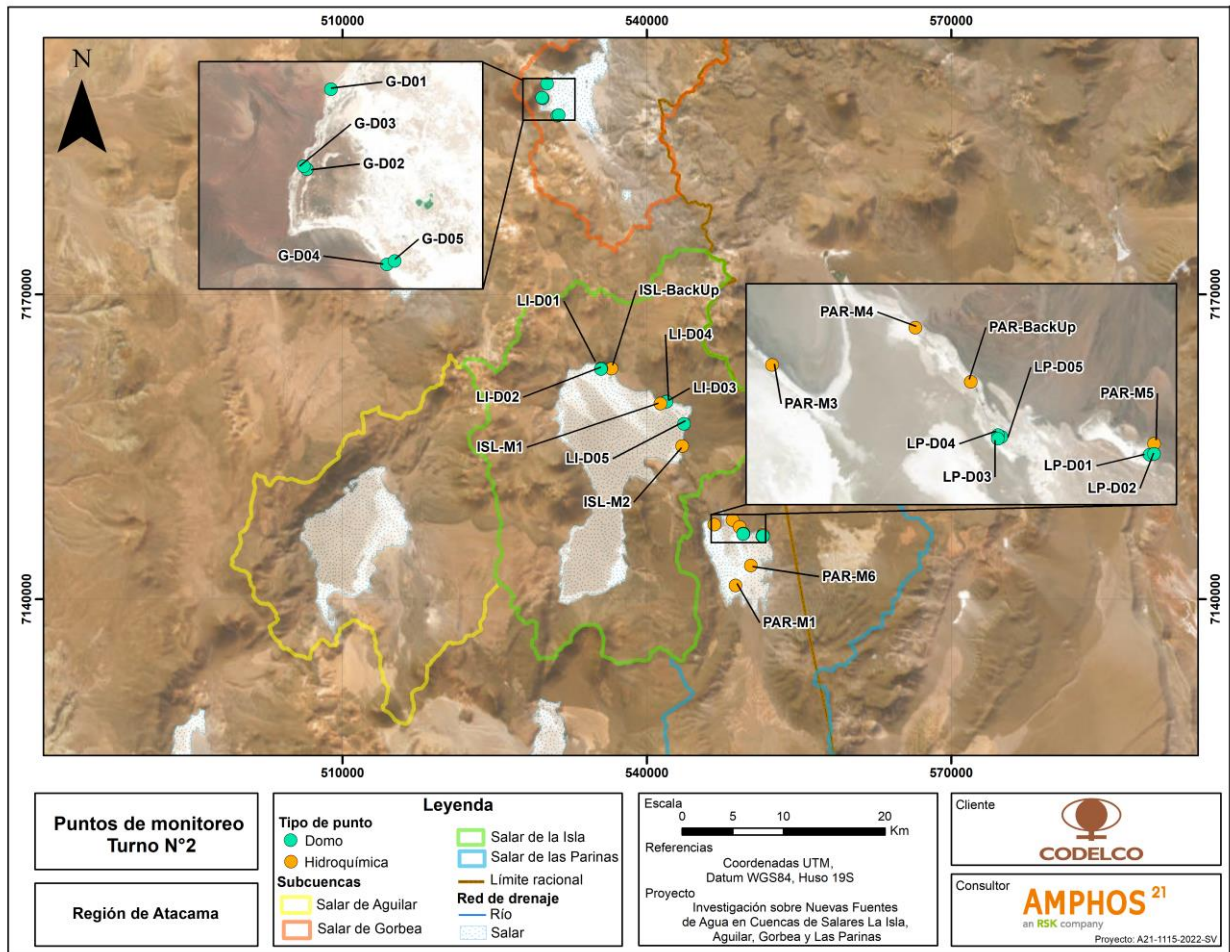


Figura 3-6: Distribución espacial de los puntos monitoreados durante el segundo turno.

De acuerdo con lo mencionado anteriormente, a continuación, se presenta el detalle de las actividades realizadas diariamente durante el segundo turno.

- **2 y 3 de enero:** se realiza el retiro de la casa rodante, para luego efectuar el traslado de los equipos de trabajo y personal de Amphos 21 desde Santiago hacia los salares. De la misma forma, el personal de Amphos 21 residente en Antofagasta se traslada hacia Tal Tal como punto de encuentro.
- **4 de enero:** se inician las actividades del segundo turno de esta campaña en el salar de La Isla. Durante la mañana se realizan ensayos de evaporación en los puntos LI-D04 y LI-D03. En el caso del punto LI-D04, este fue posicionado sobre evaporita mezclada con sedimento, además, con la finalidad de medir el nivel freático, se realiza una calicata ubicada a 10 m respecto del punto de ensayo, registrando el nivel de agua a los 2 cm.

Por su parte, el punto LI-D03 se posiciona sobre evaporita delgada de 2 a 3 cm, con una continua capa de arena fina. De la misma forma que en el punto anterior, se efectúa una calicata a 3 m respecto del punto de ensayo, registrando el nivel de agua a los 2 cm. En general, en ambos puntos durante la mañana se registran velocidades de viento de hasta 1,4 km/h a las 13:00 hrs, a partir de lo cual comienza a aumentar constantemente alcanzando los 37 km/h a las 17:00 hrs. Respecto a la temperatura, esta se mantiene constante, promediando 24°C, y con reducida nubosidad parcial.

Adicionalmente, cercano al mediodía, se realiza la toma de muestras de agua y monitoreo fisicoquímico in situ en los puntos de agua superficial ISL-M1, ISL-M2 e ISL-BackUp⁵ del salar de La Isla, registrando valores de conductividad de 3.630 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 4.210 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 9.835 $\mu\text{S}/\text{cm}$ respectivamente, y los siguientes valores de pH: 6,2 upH (ISL-M1), 6,43 upH (ISL-M2) y 7,95 upH (ISL-BackUp).

- **5 de enero:** se realiza un ensayo de evaporación en dos puntos LI-D01 y LI-D02 localizados en el salar de La Isla. El área donde se posicionan dichos puntos se caracteriza por presentar una costra blanda, la cual se encuentra mezclada principalmente por halita, yeso y arena que, además, se encuentra levantada entre 5 a 10 cm aproximadamente. Por otro lado, con el objetivo de medir el nivel freático, se realiza una calicata a 20 m del punto de ensayo LI-D01, registrando el nivel de agua a los 2 cm. De la misma forma que en el punto anterior se efectúa una calicata a 6 m del punto de ensayo LI-D02, registrando el nivel de agua a los 2 cm. Respecto a la velocidad de viento registrada, se deja constancia que a partir de las 12:03 hrs se registra una velocidad de 2 km/h, valor que comienza a aumentar en el transcurso de la jornada, alcanzando una velocidad de 34,6 km/h en el punto LI-D01. En cuanto a la temperatura, en ambos puntos se registra la máxima de 28°C, y con una nubosidad parcial que comienza a aumentar a las 16:00 hrs, alcanzando en promedio 18% durante la tarde. La Figura 3-7 muestra el ensayo de evaporación realizado en el punto LI-D02.

Adicionalmente, durante el día, se visita el sector del salar de Las Parinas, donde el equipo toma muestras de agua y miden parámetros fisicoquímico in situ en los puntos de agua superficial PAR-M1, PAR-M3, PAR-M4, PAR-M5, PAR-M6 y PAR-BackUp⁶. Al respecto

⁵ Sustituye al punto ISL-M6 (Este: 542.070; Norte: 7.171.163), cuya ubicación es de difícil acceso.

⁶ Sustituye al punto PAR-M2 (Este: 545.926; Norte: 7.144.890), cuya ubicación es de difícil acceso.

se registran los siguientes valores de conductividad eléctrica y pH: 167.900 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 7,98 upH (PAR-M1); 200.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 7,02 upH (PAR-M3); 40.040 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 8,7 upH (PAR-M4); 186.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 7,19 upH (PAR-M5); 125.700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 8,02 upH (PAR-M6); y 200.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 7,25 upH (PAR-BackUp). La Figura 3-8 muestra el monitoreo hidroquímico realizado en el punto PAR-M4.



Figura 3-7: Ensayo de evaporación en domo correspondiente al punto LI-D02 ubicado en el Salar La Isla.



Figura 3-8: Monitoreo hidroquímico en punto de agua superficial PAR-M4 en el salar de Las Parinas.

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

El punto LP-D01 es posicionado sobre evaporita de 5 mm y presenta grietas de desecación, mientras que el punto LP-D02 se posiciona sobre costra salina blanda, mezclada con yeso y presenta grietas de desecación. En ambos puntos, el nivel freático es registrado a los 10 cm. En cuanto a la velocidad del viento, esta comienza a aumentar a las 13:00 hrs, alcanzando un valor máximo de 31,2 km/h a las 16:00. Por su parte, se registra una temperatura mínima de 6°C por la mañana, mientras que a las 15:00 hrs se alcanza la máxima con 29°C. Cabe destacar que mientras se realizaba la medición en el punto LP-D01 no se registra nubosidad parcial, en cambio, en el punto LP-D02 se registra un 10% de nubosidad a partir de las 15:00.

Por su parte, el punto LP-D05 fue posicionado sobre un terreno compuesto por una mezcla de sedimentos no consolidados (arenas, limos, gravas y cenizas). Dicho punto se encuentra localizado a 20 m del punto LP-D04, cuyo terreno se compone principalmente de una costra blanda, que se encuentra mezclada de yeso y halita consolidada. En ambos puntos, se realiza una calicata a 30 m del domo, permitiendo registrar el nivel freático a 5 cm. En cuanto a la velocidad del viento y temperatura, se registra la máxima en el punto LP-D05, alcanzando 33,4 km/h y 30,5°C respectivamente.

- **7 de enero:** se realizan dos ensayos de evaporación, el primero en el salar de Las Parinas (LP-D03) y el segundo en el salar de La Isla (LI-D05). El punto LP-D03 se ubica sobre terreno compuesto por costra salina mezclada con sedimentos, cuya altura es de 10 a 35 cm. Se registra el nivel freático a los 30 cm, a través de una calicata localizada a 5 m del ensayo. En cuanto al punto LI-D05, este se localiza sobre un suelo de evaporita de 2 cm de espesor, además, debajo de la evaporita se identifica arcilla plástica con presencia de arena. Al igual que el punto anterior, se registra el nivel freático a los 6 cm, mediante una calicata localizada a 24 m del ensayo de domo. Respecto a las mediciones durante el ensayo, se registra la máxima velocidad de viento y temperatura en el punto LI-D05, alcanzando valores de 31 km/h y 31,8°C respectivamente, además, se registra 0% de nubosidad durante el día. La Figura 3-9 muestra el ensayo de evaporación realizado en el punto LP-D03.



Figura 3-9: Ensayo de evaporación en domo correspondiente al punto LP-D03 ubicado en el salar de Las Parinas.

- **8 de enero:** se realizan ensayos de evaporación en los puntos G-D02, G-D03 y G-D01 localizados en el salar de Gorbea. Los puntos G-D02 y G-D03 fueron posicionados sobre un terreno caracterizado por una costra salina mezclada con sedimento (arcilla y arena). En ambos puntos el nivel freático fue registrado a los 30 cm. En cuanto al punto G-D01, se ubica sobre un terreno compuesto de evaporita con yeso delgado de 2 mm. Respecto a las mediciones durante el ensayo, se registra la máxima velocidad de viento en el punto G-D03, alcanzando los 33,1 km/h, mientras que la temperatura máxima fue registrada en el punto G-D02 alcanzando los 33°C.
- **9 de enero:** se efectúan ensayos de evaporación en los puntos G-D04 y G-D05, localizados en el salar de Gorbea, y cuya distancia entre dichos puntos es de 170 m. El terreno sobre el cual se posicionan los domos está compuesto por evaporita delgada, mezclada con yeso, sedimento, ceniza volcánica y arena. Además, en el punto G-D04 se mide el nivel freático desde una laguna artificial del salar, registrando un valor de 40 cm, mientras que en el punto G-D05 el nivel freático se encuentra a los 25 cm, cuya medición fue obtenida mediante de una calicata. Respecto a los datos obtenidos durante el ensayo, en ambos domos, se identifica que la velocidad de viento y temperatura máxima es de 37 km/h y 32°C respectivamente. Además, únicamente se identifica nubosidad entre las 11:00 y 16:00 hrs.
- **10 de enero:** se realiza el traslado de los equipos y personal de Amphos 21 desde el salar de Gorbea hacia Copiapó, lugar donde se pernoctó ese día.

- **11 de enero:** se realiza el envío de equipos y muestras del monitoreo hidroquímico hacia Santiago. Luego, personal de Amphos 21 se traslada a su lugar de residencia, dando por finalizado el segundo turno de la primera campaña.

A modo de resumen, en la Tabla 3-2, se presentan las principales características y fechas de medición de los puntos monitoreados durante el segundo turno de la Campaña N°1. 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.

Tabla 3-2: Características de puntos monitoreados durante el segundo turno.

Punto	Sector	Medición	Tipo de punto	Este WGS84 (*)	Norte WGS84 (*)	Fecha medición
LI-D04	Salar de la Isla	Domo	-	541.922	7.159.432	04-01-2024
LI-D03	Salar de la Isla	Domo	-	541.927	7.159.417	04-01-2024
ISL-M1	Salar de la Isla	Hidroquímica	Superficial	541.334	7.159.226	04-01-2024
ISL-M2	Salar de la Isla	Hidroquímica	Superficial	543.490	7.155.054	04-01-2024
ISL-BackUp	Salar de la Isla	Hidroquímica	Superficial	536.500	7.162.673	04-01-2024
LI-D01	Salar de la Isla	Domo	-	535.523	7.162.704	05-01-2024
LI-D02	Salar de la Isla	Domo	-	535.477	7.162.629	05-01-2024
PAR-M1	Salar de las Parinas	Hidroquímica	Superficial	548.746	7.141.327	05-01-2024
PAR-M3	Salar de las Parinas	Hidroquímica	Superficial	546.658	7.147.305	05-01-2024
PAR-M4	Salar de las Parinas	Hidroquímica	Superficial	548.449	7.147.771	05-01-2024
PAR-M5	Salar de las Parinas	Hidroquímica	Superficial	551.431	7.146.323	05-01-2024
PAR-M6	Salar de las Parinas	Hidroquímica	Superficial	550.248	7.143.300	05-01-2024
PAR-BackUp	Salar de las Parinas	Hidroquímica	Superficial	549.142	7.147.094	05-01-2024
LP-D05	Salar de las Parinas	Domo	-	549.524	7.146.409	06-01-2024
LP-D04	Salar de las Parinas	Domo	-	549.481	7.146.430	06-01-2024
LP-D01	Salar de las Parinas	Domo	-	551.376	7.146.185	06-01-2024
LP-D02	Salar de las Parinas	Domo	-	551.430	7.146.196	06-01-2024
LP-D03	Salar de las Parinas	Domo	-	549.478	7.146.385	07-01-2024
LI-D05	Salar de la Isla	Domo	-	543.661	7.157.234	07-01-2024
G-D02	Salar de Gorbea	Domo	-	529.730	7.189.292	08-01-2024
G-D03	Salar de Gorbea	Domo	-	529.675	7.189.345	08-01-2024
G-D01	Salar de Gorbea	Domo	-	530.166	7.190.732	08-01-2024
G-D04	Salar de Gorbea	Domo	-	531.173	7.187.576	09-01-2024
G-D05	Salar de Gorbea	Domo	-	531.315	7.187.639	09-01-2024

(*) Coordenadas tomadas en terreno con GPS Garmin.

4 Resultados de análisis hidroquímico

Durante la primera campaña de terreno se tomaron un total de 22 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), 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, de forma adicional a las 22 muestras mencionadas, 3 duplicados, uno en el salar de Gorbea (GOR-MD1), uno en el salar de Las Parinas (PAR-MD3) y uno en el salar de La Isla (ISL-MD2), además de 1 blanco en el salar de La Isla (ISL-MB2).

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 primera campaña de terreno.

Tabla 4-1: Resultados del análisis de laboratorio correspondiente a la primera 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	123,8	8,81	305,22	389,17	<0,2	3.012	150,9	15,05	1,05	71,49	226,86	<0,01	8	2.836	893,82
AGI-M2	595,5	686,01	47.641,67	212.459,39	<0,2	259.920	725,9	2.458,2	346,36	6.845,29	54.297,54	300,49	5,7	335.340	94,19
AGI-M3	730,8	673,43	49.561,73	213.871,41	<0,2	233.659	890,9	2.837,65	363,37	7.108,01	54.418,57	388,18	5,8	332.580	97,81
AGI-M4 (*)	645,3	635,56	37.441,37	170.233,84	<0,2	249.585	786,7	2.236,72	275,85	5.120,83	46.968,03	181,47	6,3	276.100	351,13
AGI-M5	276,6	300,73	19.290,45	85.545,42	<0,2	170.391	337,1	1.086,44	131,4	2.634,31	24.342,44	431,83	6,9	138.260	921,83
AGI-M6	75,5	62,78	3.684,6	14.433,7	<0,2	41.918	92	207,35	24,7	514,81	4200,15	59,42	7,6	27.940	470,87
GOR-M1	<0,2	317,95	19.967,42	81.353,81	<0,2	152.590	<0,2	2.351,64	273,02	2.568,67	22.106,41	<0,01	1,8	131.260	839,76
GOR-M2	<0,2	4,14	414,96	375,96	<0,2	2.890	<0,2	20,83	0,66	70,79	74,44	<0,01	4,3	2.374	856,59
GOR-M3	3	3,79	464,38	478,19	<0,2	3.101	3,6	33,76	0,35	89,53	82,72	<0,01	5	2.704	784,8
GOR-M4	61	3,03	317,47	399,11	<0,2	2.402	74,3	13,95	0,33	67,53	158,97	<0,01	7,5	2.070	747,6
GOR-MD1	2,6	3,7	461,4	511,23	<0,2	3.104	3,2	33,41	0,35	87,23	89,77	<0,01	5	2.458	747,6
ISL-BACKUP	27,1	6,84	118,24	2.857,92	<0,2	10.742	33,1	177,84	10,28	98,48	2.057,19	6,48	7,5	6.040	509,95
ISL-M1	88,8	148,98	427,12	75.580,61	<0,2	154.724	108,3	3.778,74	376,54	2.346,71	46.916,64	<0,01	7,4	151.350	3.942,16
ISL-M2	102,2	129,55	184,59	63.899,71	<0,2	158.125	124,6	3.340,79	328,66	2.136,69	36.350,12	39,52	7,3	126.420	3.898,03
ISL-M3	261,1	498,77	365,56	191.299,59	<0,2	227.200	318,3	11.790,32	1351,78	8.502,42	92.363,13	240,43	6,5	273.940	20.862,03
ISL-M4	128,4	73,45	951,18	42.626,39	<0,2	102.800	156,5	1.629,58	173,36	1167	22.680,99	<0,01	7,9	73.840	3.351,4
ISL-M5	379,9	182,08	1.172,6	85.659,97	<0,2	174.200	463,1	3.280,28	337,09	2.307,28	44.354,4	<0,01	7,7	134.120	10.642,67
ISL-MB2	7,1	3,18	0,22	7,08	<0,2	1.516	8,6	49,73	<0,01	0,33	139,91	0,04	7,5	976	0,78
ISL-MD2	88,5	146,15	444,55	95.331,81	<0,2	164.693	107,8	3.698,14	366,38	2.253,83	44.964,47	<0,01	7,3	146.720	4.725,09
PAR-BACKUP	724,9	773,1	421,97	184.188,71	<0,2	229.873	883,6	8.313,74	517,03	5.153,42	93.348,89	<0,01	7,3	328.240	18.298,93
PAR-M1	883,6	271,37	313,48	89.714,94	<0,2	183.239	1.077,1	2.416,68	139,65	1.353,65	51.127,71	<0,01	8	166.330	5.616,09
PAR-M3	229	341,26	415,52	132.026,79	<0,2	225.366	279,1	4.003,03	226,87	2.276,08	77.709,02	<0,01	7	247.870	5.764,87
PAR-M4	81,8	36,91	81,76	16.311,56	36,1	44.400	26,3	558,99	27,06	237,35	8.670,4	<0,01	8,6	27.530	907,12
PAR-M5	717,4	218,52	932,94	96.055,26	<0,2	206.680	437,3	2.880,21	160,67	1.458,55	65.168,84	48,95	7,5	198.930	6.021,72
PAR-M6	391,4	95,64	225,9	34.977,29	<0,2	109.633	477,2	992,08	48,72	499,86	20.982,07	<0,01	8,1	69.320	1.890,47
PAR-MD3	736	772,62	409,78	172.056,48	<0,2	229.858	897,2	8.472,27	511,06	5.070,67	95.483,32	<0,01	7,3	317.410	17.234,25

(*) Corresponde al punto AGI-BackUp.

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 4-2). Al respecto, ninguno de los puntos analizados en el laboratorio supera una diferencia porcentual del 10%, 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 4-2: Error porcentual calculado por Amphos 21.

Nombre punto	Diferencia (%)
AGI-M1	2,64
AGI-M2	3,50
AGI-M3	2,71
AGI-M4 (*)	2,33
AGI-M5	1,59
AGI-M6	1,84
GOR-M1	0,96
GOR-M2	3,15
GOR-M3	7,86
GOR-M4	1,09
GOR-MD1	7,56
ISL-BACKUP	9,60
ISL-M1	4,96
ISL-M2	1,27
ISL-M3	4,19
ISL-M4	2,32
ISL-M5	5,69
ISL-MB2	7,04
ISL-MD2	8,52
PAR-BACKUP	5,51
PAR-M1	3,04

Nombre punto	Diferencia (%)
PAR-M3	0,41
PAR-M4	5,66
PAR-M5	5,26
PAR-M6	0,48
PAR-MD3	1,27

(*) Corresponde al punto AGI-BackUp.

5 Resultados ensayos de evaporación

En el presente apartado se presentan 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 Aguilar, es posible observar que el domo A-D02 posee una serie con datos inválidos en la tarde (16:00 a 17:00 hrs), esto se debe a que la rugosidad y continuidad del suelo no permitieron aislar el suelo adecuadamente como para considerar un volumen de control (Anexo A). A pesar de que en primera instancia los resultados del domo A-D05 son correctos, este ensayo se realizó en el mismo tipo de suelo que el domo A-D02, por lo tanto, el resultado de este domo también se debe descartar del análisis global.

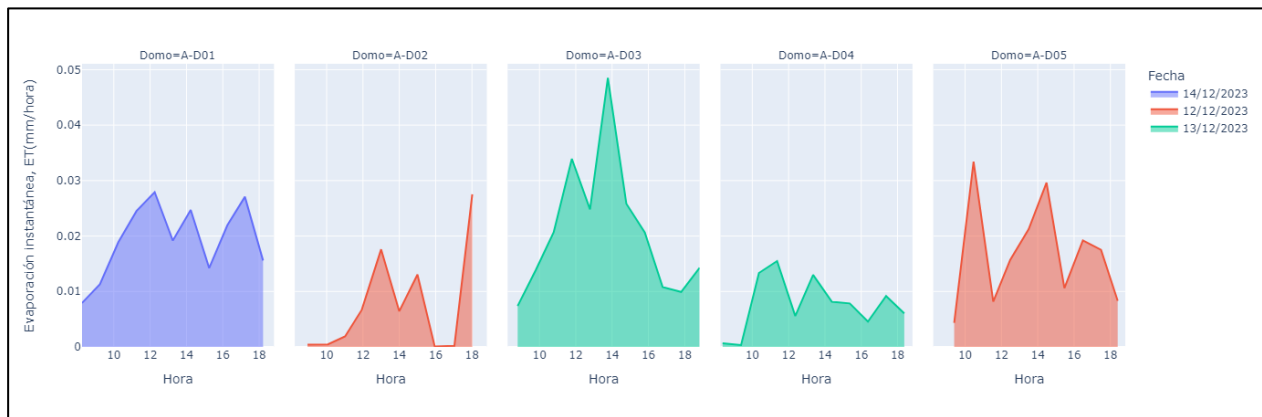


Figura 5-1: Series diarias de ensayos de evaporación de domos en el salar de Aguilar.

En la Figura 5-2 se presentan los resultados de evaporación para el salar de Gorbea. Cabe destacar los resultados del ensayo del domo G-D04, que presenta valores superiores de evaporación al resto de los puntos. Lo anterior radica en su ubicación en las cercanías de una zona de laguna.

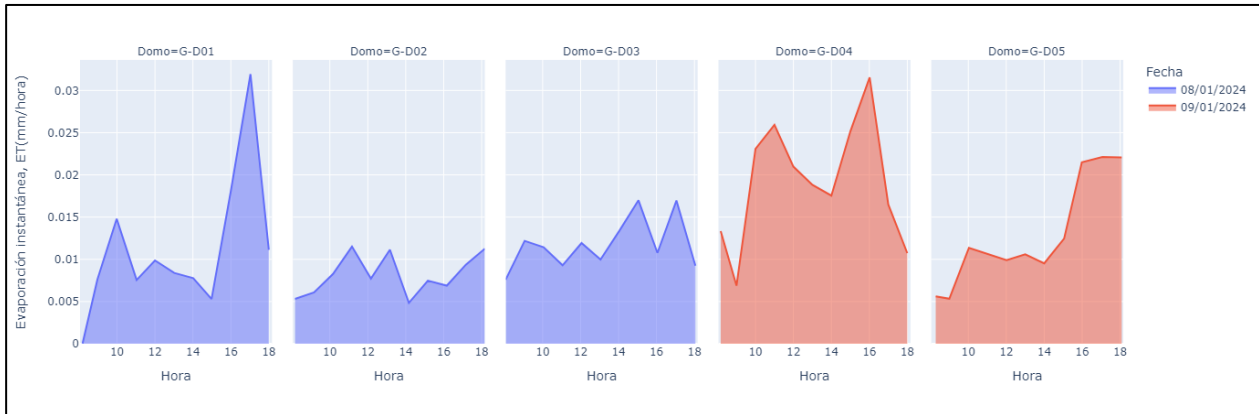


Figura 5-2: Series diarias de ensayos de evaporación de domos en el salar de Gorbea.

La Figura 5-3 muestra los resultados de evaporación de domos realizados en el salar de La Isla. Se realiza un análisis entre la temperatura, el viento y la evaporación y se concluye que, independiente del tipo de suelo, la evaporación registrada por el domo LI-D01 sería la más consistente con las condiciones meteorológicas.

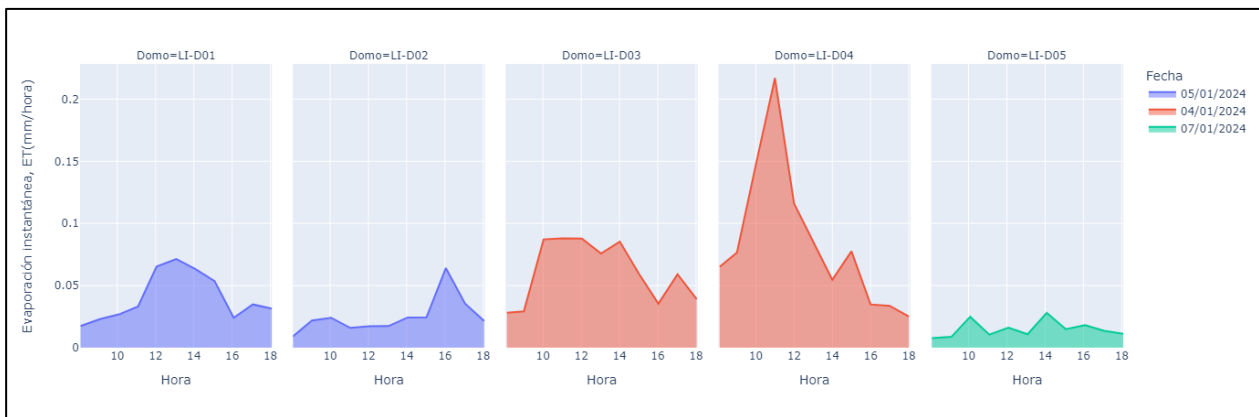


Figura 5-3: Series diarias de ensayos de evaporación de domos en el salar La Isla.

Los resultados de evaporación por la técnica del domo para el salar de Las Parinas se presentan en la Figura 5-4. A pesar de que existe una diferencia entre las evaporaciones obtenidas en el par de domos LP-D01 y LP-D02 con el resto de los puntos, este par se valida por la cercanía que hay entre ellos. El resto de los puntos se validan debido a la correspondencia con la temperatura y el viento.



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

6 Eventualidades

Es importante señalar que los caminos recorridos para llegar a los puntos mencionados anteriormente, en específico, los caminos transitados hacia y por los salares, no se encuentran asfaltados, y presentan baja mantención, en consecuencia, los caminos son irregulares, angostos, compuestos con numerosos bolones y baches, lo cual dificulta su recorrido.

Durante la primera campaña de terreno, a pesar de que, la conducción se mantuvo a bajas velocidades, respetando los accesos y señaléticas indicadas, se produjeron los siguientes eventos:

El día 16 de diciembre 2023 se presentan problemas con la rueda derecha de la casa rodante, producto del quiebre del eje longitudinal, en consecuencia, se genera un desplazamiento de aproximadamente 10 centímetros hacia la parte trasera del vehículo (Figura 6-1). Posteriormente, el 17 de diciembre, la casa rodante es retirada y transportada hacia Antofagasta por un camión grúa.



Figura 6-1: Desplazamiento de la rueda derecha de la casa rodante.

Adicionalmente, el día 19 de diciembre 2023 la camioneta DSAL-CAMI-T34 presenta problemas de fuga de líquido del sistema hidráulico, imposibilitando su conducción (Figura 6-2). Cabe señalar que el líquido filtrado fue recogido y depositado en bolsas, para su posterior transporte y desechado. Luego, el día 20 de diciembre, la camioneta es retirada y transportada hacia Antofagasta por un camión grúa (Figura 6-3).



Figura 6-2: Fuga de líquido del sistema hidráulico en camioneta.



Figura 6-3: *Traslado de camioneta desde Salar hacia Antofagasta.*

**Anexo A. Fichas técnicas de medición de evaporación en domos
(Campaña N°1)**

**Anexo B. Fichas técnicas de monitoreo hidroquímico (Campaña
N°1)**

Anexo C. Informes de resultados de análisis de laboratorio