

Nota Técnica N°09: Medición de evaporación y monitoreo hidroquímico

Campaña N°8 de monitoreo trimestral (Octubre 2025)

30-03-2026

Versión 0

A21_1115_NT09_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 octava campaña de terreno, que se llevó a cabo durante el mes de octubre de 2025, 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 octava de las campañas trimestrales comprometidas (Campaña N°8).

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.

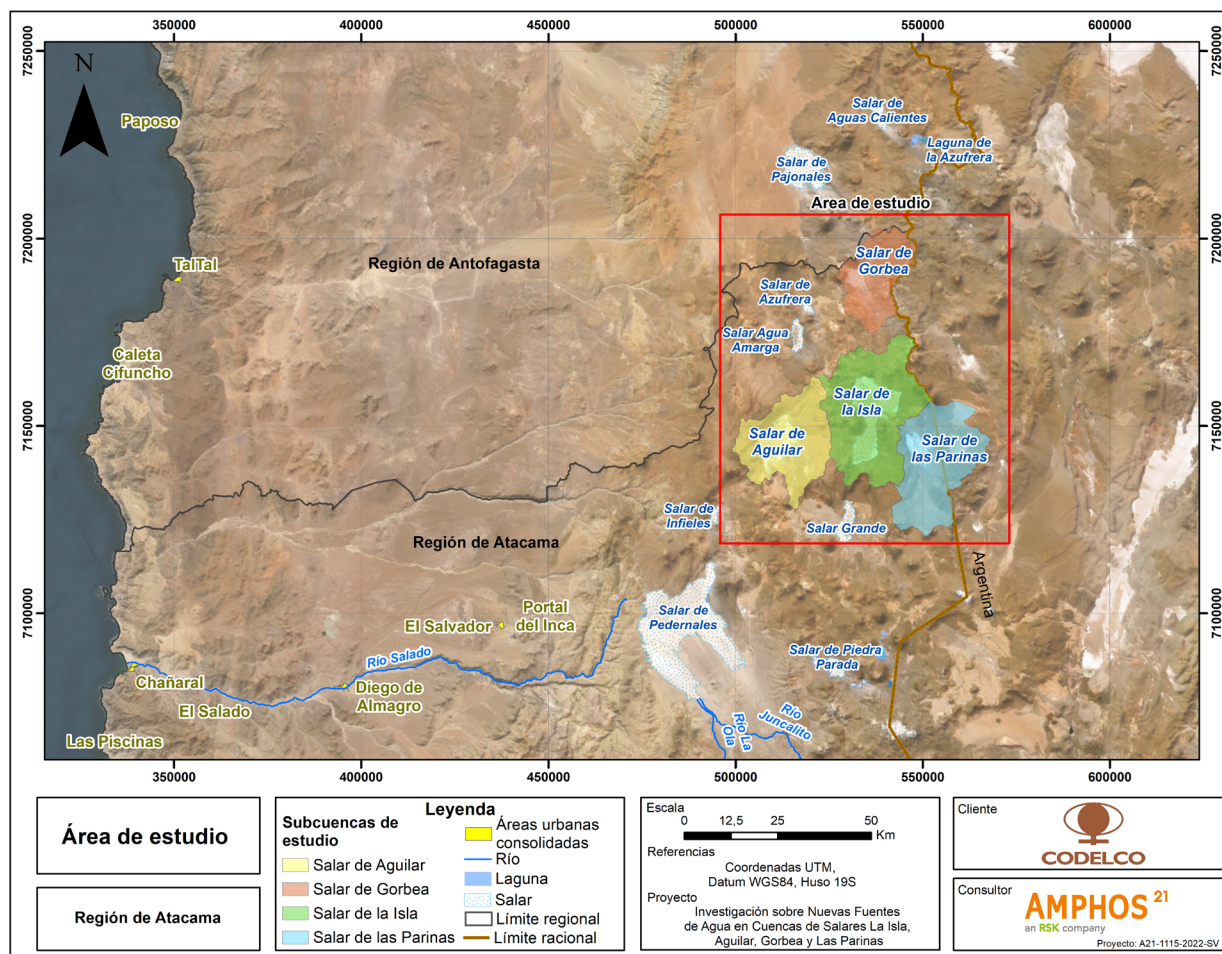


Figura 1-1: Ubicación geográfica salares La Isla, Aguilar, Gorbea y Las Parinas.

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

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.

Las muestras de agua para el análisis hidroquímico fueron enviadas al laboratorio SGS Chile.

3 Campaña de terreno

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

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

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

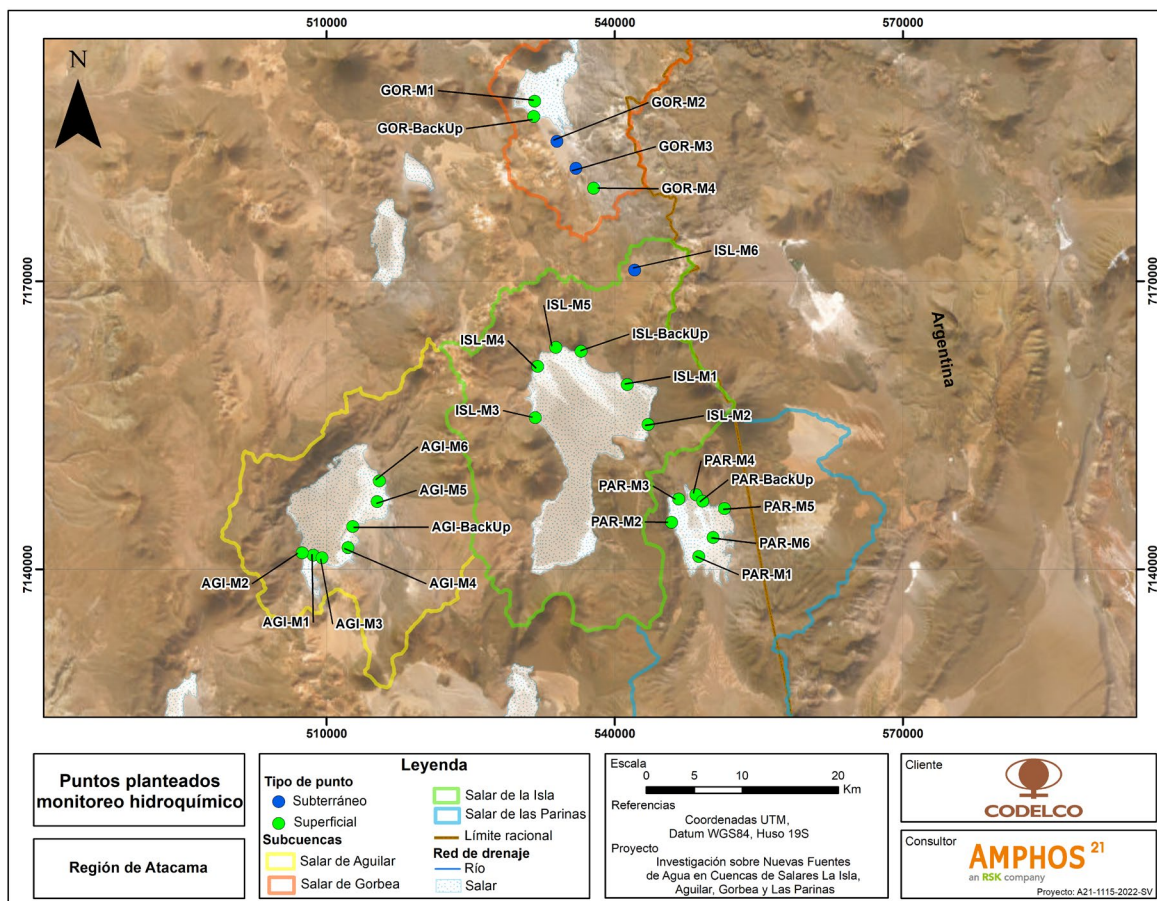


Figura 3-1: Ubicación de puntos planteados para el monitoreo hidroquímico.

La octava campaña de terreno se desarrolló entre los días 6 y 16 de octubre de 2025 por personal de Amphos 21, contemplando un turno de 10x10, el cual se encuentra integrado por 4 personas, dos camionetas 4x4 (traslado y apoyo), una casa rodante para pernoctar, equipos de toma de muestras hidroquímicas y cuatro domos para medir la evaporación.

En total se realizaron 20 ensayos de evaporación con domos (5 ensayos en cada cuenca) y, además, se llevó a cabo el monitoreo de parámetros fisicoquímicos in situ, análisis hidroquímico en 22 puntos.

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

3.1 Actividades de terreno

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

En el salar de Gorbea se visitaron 9 puntos, donde se realizaron 5 ensayos de evaporación con domo, y se tomaron 4 muestras para análisis hidroquímico. Adicionalmente se tomó 1 muestra duplicada en uno de los puntos de monitoreo hidroquímico.

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

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

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, más 1 muestra duplicada para análisis hidroquímico.

La Figura 3-2 ilustra la ubicación espacial de los puntos monitoreados durante la Campaña N°8.

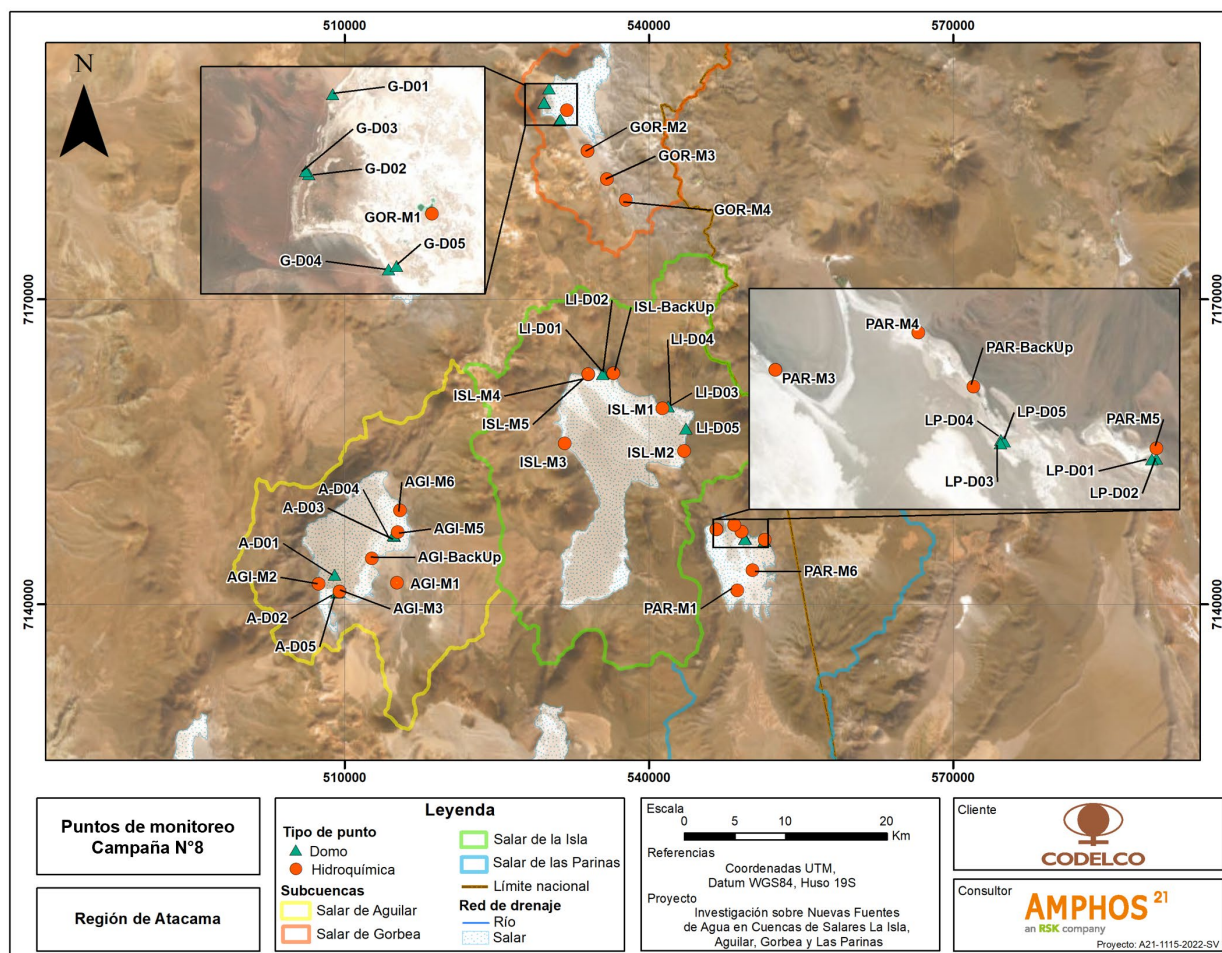


Figura 3-2: Distribución espacial de los puntos monitoreados durante la octava campaña de terreno.

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

- **6 de octubre:** se realiza el traslado de equipos de trabajo y personal de Amphos 21 desde Santiago hacia Copiapó y luego, durante la tarde, se realiza el traslado hacia la casa rodante en el salar de La Isla.
- **7 de octubre:** se inician los trabajos con el muestreo hidroquímico superficial en el salar de Aguilar, donde se visitan 6 puntos de muestreo de agua. En cada punto se recolectó una muestra de agua (AGI-M1, AGI-M2, AGI-M3, AGI-M5, AGI-M6 y AGI-BACK UP). En la Figura 3-3 se muestra el monitoreo hidroquímico realizado en puntos superficiales.

Respecto a los parámetros fisicoquímicos, se registran valores de conductividad entre los 160.800 $\mu\text{S/cm}$ y 212.300 $\mu\text{S/cm}$ en los puntos AGI-M2, AGI-M3, AGI-M5 y AGI-BACK-UP, mientras que los puntos AGI-M1 y AGI-M6 presentan una conductividad de 2.971 $\mu\text{S/cm}$ y 40.690 $\mu\text{S/cm}$, respectivamente. Por otra parte, los valores de pH van desde los 5,07 (AGI-M2) hasta los 7,69 (AGI-M6).



Figura 3-3: Monitoreo hidroquímico en puntos de agua superficial (AGI-M5 y AGI-M6) del salar de Aguilar.

- **8 de octubre:** 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 11:45 h y las 19:00 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 32 cm. Durante el ensayo, el domo recibe radiación directa con nulo porcentaje de nubosidad, además, el viento alcanza un valor máximo de 21,4 km/h a las 12:45 h, mientras que la temperatura alcanza un máximo de 19,5 °C a las 15:30 h.

Por su parte, los puntos G-D02 y G-D03 se posicionan sobre una costra salina mezclada con sedimento. En ambos puntos el nivel freático es registrado a los 30 cm. Se registra una temperatura máxima de 20,1°C en G-D02 y de 19,3°C en G-D03, ambos puntos reciben radiación directa durante todo el ensayo. Además, en los puntos G-D02 y G-D03

se alcanza una velocidad máxima de viento en torno a 21 km/h alrededor de las 13:00 h. La Figura 3-4 muestra el ensayo de evaporación realizado en el punto G-D03.

En cuanto a los puntos G-D04 y G-D05, ubicados a 170 m de distancia entre ellos, se posicionan sobre evaporita delgada mezclada con yeso, sedimento, ceniza volcánica y arena. El nivel freático se encuentra a los 68 cm, observado en una laguna al costado de ambos puntos. Respecto a la temperatura, ambos puntos registran un valor máximo en torno a 18 °C alrededor de las 17:30 h y una velocidad del viento máxima de 16 - 19 km/h durante las 14:00 h. Los domos registran nula nubosidad durante todo el ensayo.

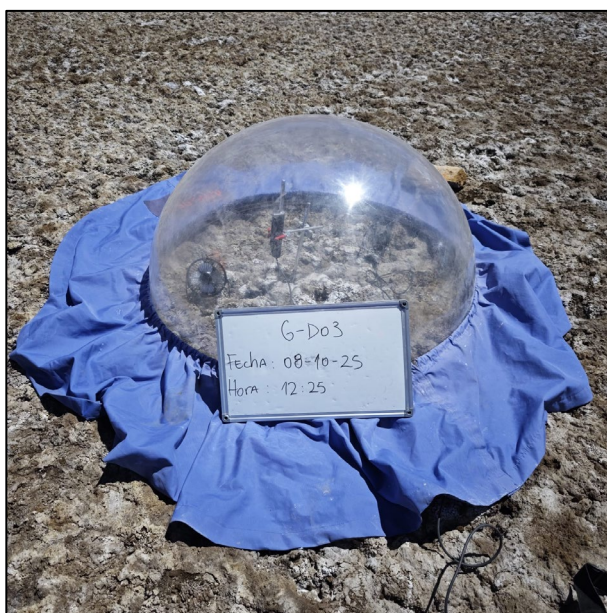


Figura 3-4: Ensayo de evaporación en domo del punto G-D03, ubicado en el salar de Gorbea.

- **9 y 10 de octubre:** entre los días 9 y 10 de octubre no fue posible realizar las actividades programadas en terreno. El 9 de octubre, debido a problemas de salud de un integrante del equipo, se realizó el traslado de todo el personal desde la casa rodante al campamento ENAMI para la evaluación preliminar de su estado de salud. Posteriormente, y por instrucción de la coordinación del proyecto, todo el equipo descendió hasta la ciudad de Copiapó. El 10 de octubre se efectuó el retorno desde Copiapó hacia la casa rodante ubicada en el salar de La Isla para retomar las actividades de terreno.
- **11 de octubre:** se inician los trabajos en el salar de Gorbea, donde se visitan 4 puntos de muestreo de agua (superficial y subterránea) para medir parámetros fisicoquímicos in situ y realizar posteriormente su muestreo hidroquímico. En cada punto se recolectó una muestra de agua (GOR-M1, GOR-M2, GOR-M3 y GOR-M4) y, adicionalmente, en el punto

GOR-M1 se toma una muestra duplicada destinada al análisis hidroquímico (GOR-MD1). En la Figura 3-5 se muestra el monitoreo hidroquímico realizado en un punto superficial y uno subterráneo.

Respecto a los parámetros fisicoquímicos in situ en el salar de Gorbea, se registra una conductividad de 103.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 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 2.400 - 3.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Por otra parte, los valores de pH se encuentran en un rango de 4,0 a 4,3, con excepción del punto GOR-M1, que presenta un valor de 2,16.



Figura 3-5: Monitoreo hidroquímico en punto de agua superficial y subterránea (GOR-M1 y GOR-M3) del salar de Gorbea.

Posteriormente, durante la tarde, se inician los trabajos con el muestreo hidroquímico superficial en el salar de La Isla, donde se visitan 5 puntos de muestreo. En cada punto se recolectó una muestra de agua (ISL-M1, ISL-M3, ISL-M4, ISL-M5 y ISL-BACK UP), además de un duplicado en ISL-BACK UP (ISL-MD3). Cabe señalar que, adicionalmente se toma una muestra blanco (ISL-MB4). En la Figura 3-6 se muestra el monitoreo hidroquímico realizado en puntos superficiales.

En cuanto a los parámetros fisicoquímicos in situ, los puntos ISL-M1 y ISL-M3 registran los mayores valores de conductividad (181.100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 234.200 $\mu\text{S}/\text{cm}$, respectivamente), mientras que los puntos ISL-BACKUP, ISL-M4 y ISL-M5 (localizados en el norte del salar) presentan valores de conductividad de 10.740 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 61.200 $\mu\text{S}/\text{cm}$

y 60.600 $\mu\text{S}/\text{cm}$, respectivamente. En cuanto al pH, las muestras del salar de La Isla presentan valores de entre 6,68 (ISL-M3) a 8,15 (ISL-M5).



Figura 3-6: Monitoreo hidroquímico en puntos de agua superficial (ISL-M3 e ISL-M4) del salar de La Isla.

- **12 de octubre:** se inician las actividades con el muestreo del punto de agua superficial ISL-M2 en el salar de La Isla, el cual quedo pendiente del día anterior. La medición de la conductividad in situ registrada fue de 115.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, mientras que el pH in situ fue de 7,56.

Posteriormente, se realiza el traslado hacia el salar de Las Parinas, desde el salar de La Isla, donde se visitan 6 puntos de muestreo de agua para análisis hidroquímico. En cada punto se recolectó una muestra de agua (PAR-M1, PAR-M3, PAR-M4, PAR-M5, PAR-M6 y PAR-BACKUP) y, en el punto PAR-M6 se toma una muestra duplicada destinada al análisis hidroquímico (PAR-MD2). 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 200.450 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 239.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en los puntos PAR-BACKUP, PAR-M3, PAR-M4 y PAR-M5 mientras que en los puntos PAR-M1 y PAR-M6 se registran valores de 54.400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 142.100 $\mu\text{S}/\text{cm}$, respectivamente. Por otra parte, los valores de pH van desde los 6,94 (PAR-M4) hasta los 8,49 (PAR-M1).



Figura 3-7: Monitoreo hidroquímico en puntos de agua superficial (PAR-BACKUP y PAR-M3) del salar de Las Parinas.

- **13 de octubre:** se efectúan 5 ensayos de evaporación con domos en el salar de Las Parinas (LP-D01, LP-D02, LP-D03, LP-D04 y LP-D05). Los ensayos se tomaron entre las 10:20 h y las 18:40 h.

En particular, los puntos LP-D01 y LP-D02 se distancian 60 m aproximadamente entre sí, y se ubican sobre un terreno cubierto por costra salina delgada seguida de material sedimentario y con humedad en la superficie. En el punto LP-D01 se registra un nivel freático a 2 cm, mientras que en el punto LP-D02 se registra un nivel de 22 cm, ambos inferidos a partir de afloramientos de agua cercanos al sector. La velocidad del viento alcanza un valor máximo de 35,8 y 39,5 km/h por la tarde en LP-D01 y LP-D02, respectivamente. Por otra parte, ambos puntos registran una temperatura máxima en torno a los 20°C alrededor de las 14:30 h. Durante el día se presentó una nula nubosidad, haciendo que los domos reciban radiación directa durante todo el ensayo. La Figura 3-8 muestra el ensayo de evaporación realizado en el punto LP-D01.

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 19 cm tomados desde una laguna cercana. En cuanto a los resultados obtenidos en los 3 ensayos, se registra una velocidad de viento

máxima de 35 - 39 km/h alrededor de las 14:30 h. Por otra parte, la temperatura máxima registrada es en torno a 20 °C. Además, en los 3 ensayos se registra un nulo porcentaje de nubosidad, por lo que los domos reciben radiación directa durante las mediciones.



Figura 3-8: Ensayo de evaporación en domo del punto LP-D01, ubicado en el salar de Las Parinas.

- **14 de octubre:** 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 10:20 h y finalizaron en torno a las 18:50 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 un canal adyacente, encontrándose a una profundidad de 15 cm debajo del terreno. Alrededor de las 15:25 h se registra la máxima velocidad del viento, con un valor de 45 km/h en LI-D02. En cuanto a la temperatura máxima alcanzada, ambos puntos registran valores de 17 °C, en torno a las 14:20 h. La Figura 3-9 muestra el ensayo de evaporación realizado en el punto LI-D02.

Los puntos LI-D03 y LI-D04 se distancian 15 m entre sí. El punto LI-D03 se posiciona sobre un terreno de evaporita delgada con una continua capa de arena fina. Por su parte, el punto LI-D04 se posiciona sobre evaporita mezclada con sedimentos. En ambos puntos se registra el nivel freático a los 2 cm desde una laguna cercana. Respecto a los datos obtenidos durante el ensayo en ambos domos, se identifica que la temperatura máxima

es de aproximadamente 17 °C, mientras que la velocidad del viento alcanza máximos de 31 km/h, donde ambos parámetros fueron alcanzados alrededor de las 15:30 h.

Finalmente, el domo del punto LI-D05 se instala sobre suelo cubierto principalmente por evaporita, debajo de la evaporita se observa arcilla plástica con presencia de arena. Además, se registra un nivel freático a los 3 cm observado en terreno. En cuanto a las mediciones en el domo, se registran velocidades de viento con un valor máximo de 30 km/h y una temperatura máxima de 25,5 °C, ambas alcanzadas a las 15:50. La Figura 3-9 muestra el ensayo de evaporación realizado en el punto LI-D02.



Figura 3-9: Ensayo de evaporación en domo del punto LI-D02, ubicado en el salar de La Isla.

- **15 de octubre:** 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 18:30 h.

El punto A-D01 se posiciona sobre una capa de evaporitas de alta dureza con presencia de sedimentos. Además, el nivel freático en la zona de medición es de 33 cm bajo el terreno, el cual se mide en un cuerpo de agua cercano. Durante el ensayo se registran velocidades de viento de hasta 30 km/h y una temperatura máxima de aproximadamente 25 °C, alcanzada a las 14:25 h.

Por su parte, los puntos A-D03 y A-D04, se posicionan sobre una costra salina blanda con sedimentos y yeso, donde A-D03 presenta un nivel freático de 12 cm y A-D04 un nivel de 7 cm, ambos medidos de una laguna cercana. En cuanto a los resultados del ensayo,

ambos puntos presentan una velocidad máxima en torno a 17 - 18 km/h y una escasa nubosidad. Respecto a la temperatura, ambos puntos presentan un valor máximo en torno a 26,5 °C a las 13:00 h.

En cuanto a los puntos A-D02 y A-D05, estos se posicionan sobre una costra de evaporitas delgada sobre arcillas y arenas. El punto A-D02 registra un nivel freático de 25 cm bajo el nivel de terreno, mientras que el punto A-D05 registra 16 cm, donde ambas mediciones fueron obtenidas desde una laguna cercana. El ensayo realizado en el punto A-D05 tiene como resultado una velocidad del viento y temperatura máximas de 21,9 km/h y 26,1 °C, mientras que el punto A-D02 registra valores máximos de 23,3 km/h y 29,3 °C, los cuales fueron todos medidos en torno a las 14:00 h y 15:00 h. En la Figura 3-10 se puede observar el ensayo de evaporación con domos en el punto A-D05.



Figura 3-10: Ensayo de evaporación en domo del punto A-D05, ubicado en el salar de Aguilar.

- **16 de octubre:** se ordenan y empaquetan equipos y muestras de hidroquímica, se elabora guía de despacho y se envían al laboratorio. Luego, personal de Amphos 21 se traslada a su lugar de residencia, dando por finalizada la octava 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°8. 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 octava 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	15-10-2025
A-D02	Salar de Aguilar	Domo	-	509.249	7.141.110	15-10-2025
A-D03	Salar de Aguilar	Domo	-	514.834	7.146.743	15-10-2025
A-D04	Salar de Aguilar	Domo	-	514.929	7.146.680	15-10-2025
A-D05	Salar de Aguilar	Domo	-	509.483	7.141.162	15-10-2025
G-D01	Salar de Gorbea	Domo	-	530.166	7.190.732	08-10-2025
G-D02	Salar de Gorbea	Domo	-	529.730	7.189.292	08-10-2025
G-D03	Salar de Gorbea	Domo	-	529.675	7.189.345	08-10-2025
G-D04	Salar de Gorbea	Domo	-	531.173	7.187.576	08-10-2025
G-D05	Salar de Gorbea	Domo	-	531.315	7.187.639	08-10-2025
LI-D01	Salar de la Isla	Domo	-	535.523	7.162.704	14-10-2025
LI-D02	Salar de la Isla	Domo	-	535.477	7.162.629	14-10-2025
LI-D03	Salar de la Isla	Domo	-	541.927	7.159.417	14-10-2025
LI-D04	Salar de la Isla	Domo	-	541.922	7.159.432	14-10-2025
LI-D05	Salar de la Isla	Domo	-	543.661	7.157.234	14-10-2025
LP-D01	Salar de las Parinas	Domo	-	551.376	7.146.185	13-10-2025
LP-D02	Salar de las Parinas	Domo	-	551.430	7.146.196	13-10-2025
LP-D03	Salar de las Parinas	Domo	-	549.478	7.146.385	13-10-2025
LP-D04	Salar de las Parinas	Domo	-	549.481	7.146.430	13-10-2025
LP-D05	Salar de las Parinas	Domo	-	549.524	7.146.409	13-10-2025
AGI-BACKUP	Salar de Aguilar	HQ	Superficial	512.725	7.144.452	07-10-2025
AGI-M1	Salar de Aguilar	HQ	Subterráneo	515.182	7.142.080	07-10-2025
AGI-M2	Salar de Aguilar	HQ	Superficial	507.473	7.141.943	07-10-2025
AGI-M3	Salar de Aguilar	HQ	Superficial	509.519	7.141.191	07-10-2025
AGI-M5	Salar de Aguilar	HQ	Superficial	515.269	7.147.056	07-10-2025

Punto	Sector	Medición	Tipo de punto	Este WGS84	Norte WGS84	Fecha medición
AGI-M6	Salar de Aguilar	HQ	Superficial	515.495	7.149.195	07-10-2025
GOR-M1	Salar de Gorbea	HQ	Superficial	531.954	7.188.574	11-10-2025
GOR-M2	Salar de Gorbea	HQ	Subterráneo	533.967	7.184.571	11-10-2025
GOR-M3	Salar de Gorbea	HQ	Subterráneo	535.877	7.181.803	11-10-2025
GOR-M4	Salar de Gorbea	HQ	Superficial	537.748	7.179.727	11-10-2025
GOR-MD1	Salar de Gorbea	HQ	Superficial	531.954	7.188.574	11-10-2025
ISL-BACKUP	Salar de la Isla	HQ	Superficial	536.500	7.162.673	11-10-2025
ISL-M1	Salar de la Isla	HQ	Superficial	541.334	7.159.226	11-10-2025
ISL-M2	Salar de la Isla	HQ	Superficial	543.490	7.155.054	12-10-2025
ISL-M3	Salar de la Isla	HQ	Superficial	531.718	7.155.794	11-10-2025
ISL-M4	Salar de la Isla	HQ	Superficial	534.025	7.162.590	11-10-2025
ISL-M5	Salar de la Isla	HQ	Superficial	534.031	7.162.595	11-10-2025
ISL-MB4*	Salar de la Isla	HQ	-	-	-	11-10-2025
ISL-MD3	Salar de la Isla	HQ	Superficial	536.500	7.162.673	11-10-2025
PAR-BACKUP	Salar de las Parinas	HQ	Superficial	549.142	7.147.094	12-10-2025
PAR-M1	Salar de las Parinas	HQ	Superficial	548.746	7.141.327	12-10-2025
PAR-M3	Salar de las Parinas	HQ	Superficial	546.658	7.147.305	12-10-2025
PAR-M4	Salar de las Parinas	HQ	Superficial	548.449	7.147.771	12-10-2025
PAR-M5	Salar de las Parinas	HQ	Superficial	551.431	7.146.323	12-10-2025
PAR-M6	Salar de las Parinas	HQ	Superficial	550.248	7.143.300	12-10-2025
PAR-MD2	Salar de las Parinas	HQ	Superficial	550.248	7.143.300	12-10-2025

(*) Muestra blanco.

4 Resultados de análisis hidroquímico

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

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

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

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

Punto	Alcalinidad (mg/l)	B ³⁺ (mg/l)	Ca ²⁺ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	CO ₃ ²⁻ (mg/l)	CE (uS/cm)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)	Li ⁺ (mg/l)	Mg ²⁺ (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	pH (upH)	SDT (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)
AGI-BACKUP	590,20	313,95	19.551,66	114.960,98	<0,2	163.048	719,50	1.510,74	187,35	2.629,43	28.200,05	440,36	7,20	157.200	1.030,32
AGI-M1	110,40	7,61	291,06	390,68	<0,2	2.929	134,60	15,20	1,43	64,51	219,45	13,25	7,80	2.316	937,75
AGI-M2	568,30	580,03	52.448,59	240.969,97	<0,2	216.207	692,80	2.759,84	427,33	6.918,46	54.797,57	946,99	5,70	354.800	245,48
AGI-M3	665,80	533,57	51.097,99	244.286,87	<0,2	216.865	811,60	2.933,95	420,05	6.692,77	56.152,61	1.039,87	5,90	353.060	176,80
AGI-M5	307,40	263,01	22.047,24	110.434,62	<0,2	160.901	374,80	1.297,45	176,49	2.853,40	25.061,38	471,83	7,00	154.180	860,95
AGI-M6	69,40	46,85	3.794,96	14.689,46	<0,2	39.380	84,60	218,84	28,69	496,81	4.355,18	58,72	7,60	31.360	1.618,97
AGI-MB4	2,20	0,20	<0,01	0,33	<0,2	3	2,60	<0,01	0,41	<0,01	<0,01	<0,08	5,80	2	0,11
GOR-M1	<0,2	819,75	508,95	85.178,03	<0,2	131.048	<0,2	2.653,42	185,82	15.100,63	26.268,12	7,72	2,40	176.660	46.086,67
GOR-M2	<0,2	1,36	376,67	87,65	<0,2	3.072	<0,2	14,38	0,60	30,52	81,93	<0,08	4,30	2.252	1.343,72
GOR-M3	<0,2	2,14	418,79	119,46	<0,2	3.154	<0,2	30,36	0,64	76,26	160,50	<0,08	4,40	2.780	1.739,94
GOR-M4	<0,2	1,41	465,22	79,43	<0,2	2.989	<0,2	34,21	0,55	54,27	129,59	4,14	4,20	2.664	1.788,41
GOR-MD1	<0,2	639,60	551,32	56.653,13	<0,2	133.531	<0,2	1.997,80	149,48	8.939,41	24.880,43	5,54	2,30	181.740	32.503,65
ISL-BACKUP	24,10	7,87	101,01	4.047,51	<0,2	10.620	29,40	119,27	18,89	73,61	2.262,05	11,89	7,40	6.340	853,43
ISL-M1	104,20	133,21	633,33	105.749,75	<0,2	175.766	127,10	3.898,92	447,93	2.515,99	52.150,78	44,10	7,40	165.100	8.469,57
ISL-M2	87,60	120,60	221,28	82.720,58	<0,2	150.039	106,80	3.104,53	347,50	1.986,70	41.358,68	54,75	7,40	131.160	6.225,09
ISL-M3	128,60	190,13	640,01	229.175,40	<0,2	233.805	156,80	6.425,31	760,69	4.209,22	104.166,68	107,94	6,90	326.060	14.626,37
ISL-M4	102,40	51,15	1.312,62	25.570,15	<0,2	61.885	124,80	1.016,15	114,26	644,68	13.682,63	0,97	8,10	45.600	5.589,48
ISL-M5	101,50	46,19	1.249,95	24.568,19	<0,2	59.495	123,70	987,28	110,43	621,94	13.016,80	1,20	8,10	44.320	5.524,33
ISL-MD3	25,60	6,92	120,37	3.969,32	<0,2	10.801	31,20	148,87	19,05	89,65	2.118,33	11,35	7,70	6.480	760,63
PAR-BACKUP	797,40	409,21	652,70	218.650,58	<0,2	230.733	972,10	4.879,72	386,47	3.042,71	115.676,66	<0,08	7,50	329.560	17.789,95
PAR-M1	601,30	178,19	320,89	76.042,55	102,80	139.316	524,00	1.675,91	126,68	865,89	43.634,78	<0,08	8,50	115.580	5.831,33
PAR-M3	480,10	353,73	947,52	164.722,18	<0,2	216.452	585,30	4.284,99	335,24	2.760,74	89.522,66	15,14	7,50	249.820	13.368,14
PAR-M4	466,30	424,95	622,16	222.801,23	<0,2	231.380	568,40	6.366,70	506,95	4.171,63	116.019,91	44,23	7,10	329.460	17.653,68

Punto	Alcalinidad (mg/l)	B ³⁺ (mg/l)	Ca ²⁺ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	CO ₃ ²⁻ (mg/l)	CE (uS/cm)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)	Li ⁺ (mg/l)	Mg ²⁺ (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	pH (upH)	SDT (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)
PAR-M5	606,30	259,90	1.218,71	130.427,27	<0,2	197.713	739,00	2.766,30	226,29	1.715,36	73.484,81	4,37	7,80	206.520	11.826,13
PAR-M6	219,90	37,45	171,35	20.918,85	<0,2	52.749	268,00	358,76	27,20	199,72	11.178,88	6,63	8,30	34.960	1.918,48
PAR-MD2	227,00	37,68	190,22	22.638,97	<0,2	52.509	276,70	394,51	29,64	221,51	12.318,28	6,62	8,30	35.120	1.956,98

4.1 Control de calidad

Para verificar los resultados obtenidos de laboratorio de los elementos químicos disueltos se comprueba el principio de la electroneutralidad, el cual establece que la suma de las cargas eléctricas positivas (cationes) debe ser equivalente a la suma de las cargas eléctricas negativas (aniones) en solución.

Considerando lo anterior, se estima el error de balance iónico 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-}) expresadas en miliequivalentes por litro (meq/L). Como se observa en la Tabla 4-2, ninguna muestra supera el 15% de error de balance iónico, donde la mayoría presenta valores inferiores al 10%, lo que indica una buena coherencia interna de los resultados analíticos.

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.

Finalmente, para esta campaña en particular, se detectaron diferencias entre algunos parámetros entre la muestra GOR-M1 y su duplicado GOR-MD1. Esta situación fue revisada en el laboratorio, confirmando los resultados reportados. Sin embargo, es relevante destacar que los otros dos duplicados analizados presentaron resultados satisfactorios y que, en términos generales, los datos obtenidos en esta campaña son coherentes con los resultados observados en campañas anteriores. En consecuencia, esta discrepancia puede ser considerada como un evento puntual, el cual no compromete la calidad ni la representatividad global de los resultados de laboratorio.

Tabla 4-2: Error porcentual calculado por Amphos 21.

Nombre punto	Error de balance iónico (%)
AGI-BACKUP	11,99
AGI-M1	1,76
AGI-M2	7,53
AGI-M3	8,52
AGI-M5	10,26
AGI-M6	0,75
AGI-MB4	0,01
GOR-M1	10,34
GOR-M2	9,39

Nombre punto	Error de balance iónico (%)
GOR-M3	6,29
GOR-M4	7,29
GOR-MD1	4,12
ISL-BACKUP	5,89
ISL-M1	7,70
ISL-M2	7,12
ISL-M3	12,79
ISL-M4	4,19
ISL-M5	4,83
ISL-MD3	5,79
PAR-BACKUP	7,66
PAR-M1	3,91
PAR-M3	5,36
PAR-M4	7,07
PAR-M5	4,69
PAR-M6	8,19
PAR-MD2	7,19

5 Resultados ensayos de evaporación

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

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

Salar Aguilar

Las series de evaporación diaria registradas en el salar de Aguilar se presentan en la Figura 5-1. Se observa que las mayores tasas de evaporación se producen en torno a las 13:00 h, registrándose la mayor tasa en A-D03, alcanzando un valor en torno a 0,1 mm/h. Posteriormente, a partir de las 14:00 h, las tasas disminuyen considerablemente hasta alcanzar valores cercanos a cero en la mayoría de los ensayos. En contraste, el ensayo A-D01 presenta tasas de evaporación muy bajas durante todo el día, con valores prácticamente nulos en el registro.

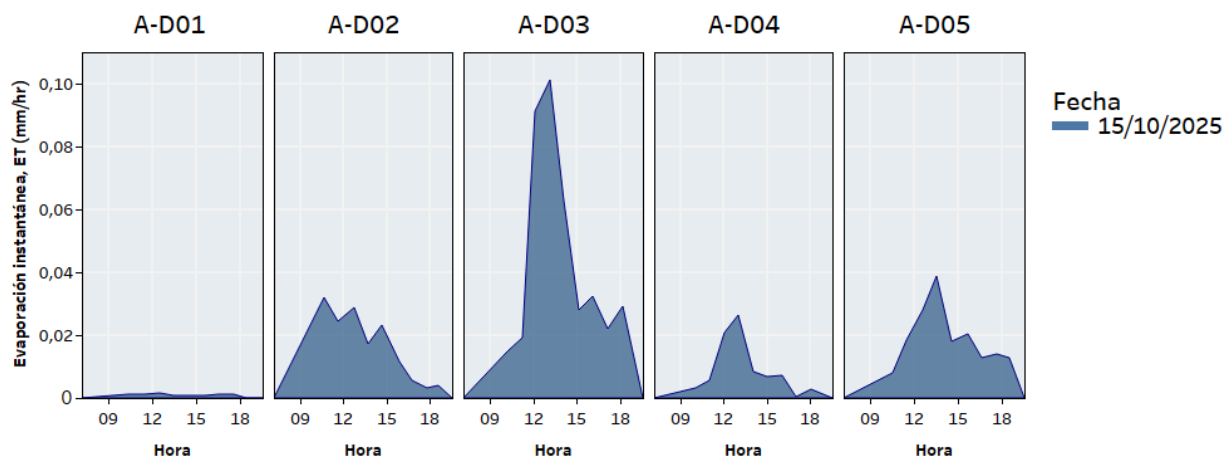


Figura 5-1: Series diarias de ensayos de evaporación de domos en el salar de Aguilar.

En la Tabla 5-1 se presentan los resultados diarios correspondientes a los ensayos previamente descritos del salar de Aguilar. El rango de evaporación diaria varía entre 0,01 y 0,42 mm, con un promedio de 0,18 mm para el conjunto de los ensayos. La variabilidad registrada en los distintos ensayos sugiere que las tasas de evaporación producidas durante la presente campaña se encuentran fuertemente condicionadas por la ubicación de cada domo en el salar.

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

Salar de Aguilar	
Ensayo	ET/día (mm)
A-D01	0,01
A-D02	0,19
A-D03	0,42
A-D04	0,08
A-D05	0,18
Promedio	0,18

Salar Gorbea

En la Figura 5-2 se presentan los resultados obtenidos en el salar de Gorbea. Se observa que las mayores tasas de evaporación se encuentran en los domos G-D01 y GD-04 con valores máximos que superan los 0,01 mm/h, en torno a las 12:00 h. Por otra parte, los domos G-D02, G-D03 y G-D05 presentan valores considerablemente más bajos (inferiores a 0,01 mm/h), sin mostrar de forma clara el periodo de mayor evaporación durante el día.

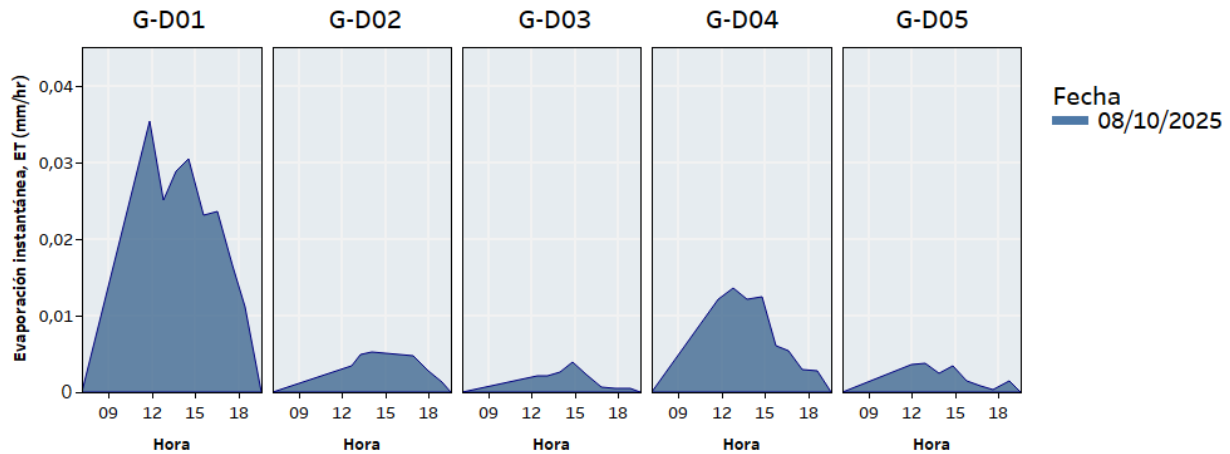


Figura 5-2: Series diarias de ensayos de evaporación de domos en el salar de Gorbea.

En la Tabla 5-2 se presentan los resultados diarios correspondientes a los ensayos en el salar de Gorbea. El rango de evaporación diaria de los domos se encuentra en un rango de 0,02 mm y 0,25 mm, con un promedio de 0,08 mm. A partir de los resultados, se puede interpretar que los domos G-D02 y G-D05 podrían estar midiendo la evaporación de la humedad del suelo, ya que presentan valores muy bajos respecto a las mediciones de los otros domos.

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

Salar de Gorbea	
Ensayo	ET/día (mm)
G-D01	0,25
G-D02	0,04
G-D03	0,02
G-D04	0,09
G-D05	0,02
Promedio	0,08

Salar La Isla

En la Figura 5-3 se presentan los resultados de los ensayos realizados en el salar de La Isla. De acuerdo con las tasas calculadas, se observan dos grupos: el primer grupo (LI-D01, LI-D02 y LI-D05) con mediciones máximas que no superan los 0,03 mm/h. El segundo grupo, en cambio (LI-D03 y LI-D04), registran valores máximos en un rango aproximado de 0,06 - 0,11 mm/h. Además, se puede distinguir que la mayor tasa de evaporación se da en el periodo entre las 12:00 h y 15:00 h en la mayoría de los domos.

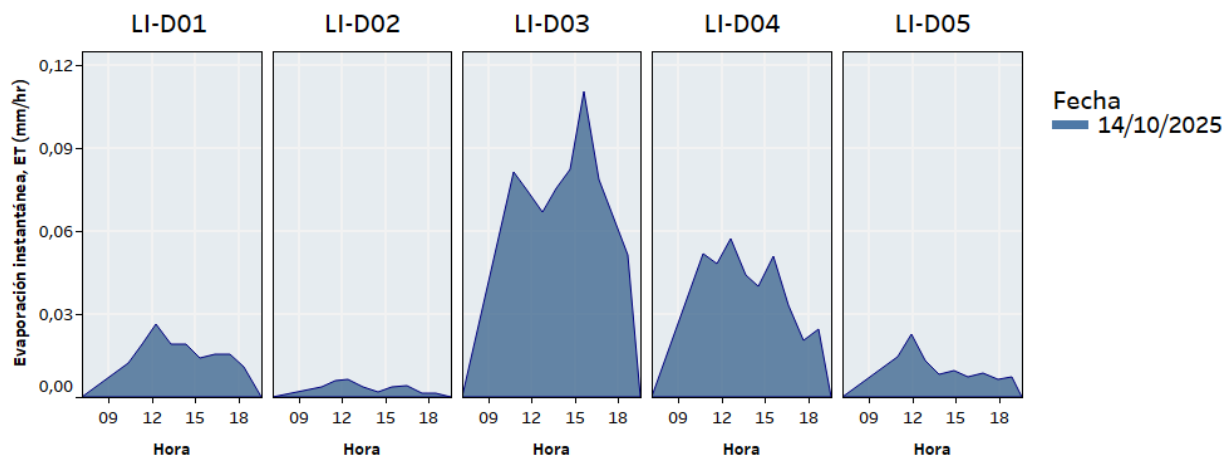


Figura 5-3: Series diarias de ensayos de evaporación de domos en el salar de La Isla.

En la Tabla 5-3 se presentan los resultados diarios correspondientes a los ensayos previamente descritos. Según el registro, se observa que la evaporación diaria es notablemente mayor en los domos LI-D03 y LI-D04, con tasas de 0,78 mm y 0,43 mm, respectivamente.

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

Salar de La Isla	
Ensayo	ET/día (mm)
LI-D01	0,17
LI-D02	0,04
LI-D03	0,78
LI-D04	0,43
LI-D05	0,11
Promedio	0,31

Las Parinas

Los resultados de los ensayos en el salar de Las Parinas (ver Figura 5-4) muestran dos grupos que presentan resultados de distinta magnitud: el primer grupo (LP-D01, LP-D02 y LP-D03) con mediciones máximas de entre 0,03 - 0,06 mm/h aproximadamente. El segundo grupo en cambio (LP-D04 y LP-D05) registran valores inferiores a 0,01 mm/h. Además, se distingue que la mayor tasa de evaporación se da en el periodo entre las 12:00 h y 16:00 h en la mayoría de los domos.

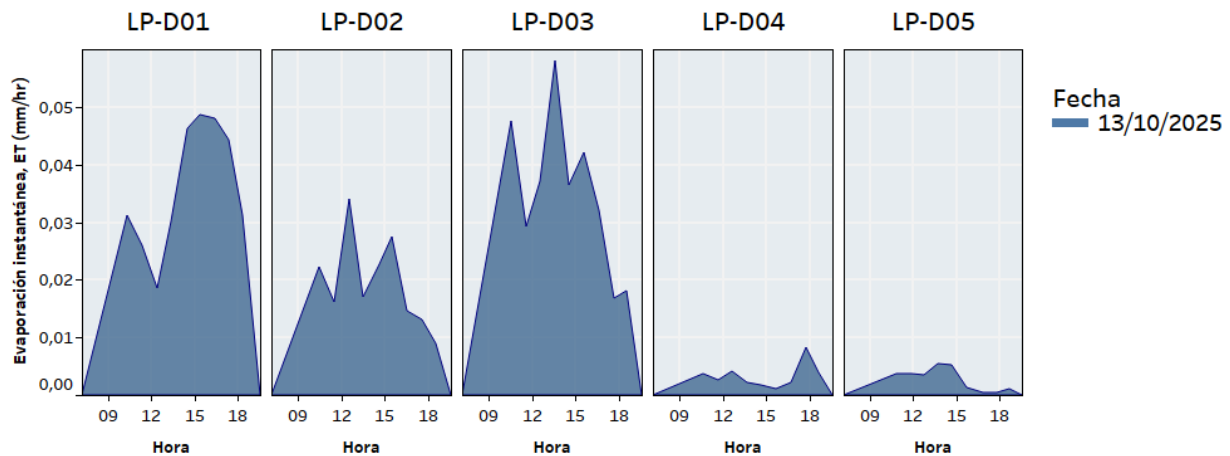


Figura 5-4: Series diarias de ensayos de evaporación de domos en el salar Las Parinas.

En la Tabla 5-4 se presentan los resultados de evaporación diaria en el salar de Las Parinas, donde se observa claramente los dos grupos de domos mencionados anteriormente, donde los domos LP-D01, LP-D02 y LP-D03 presentan valores de 0,20 – 0,37 mm y los domos LP-D04 y LP-D05 registran ambos una tasa de evaporación diaria de 0,03 mm.

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

Salar de Las Parinas	
Ensayo	ET/día (mm)
LP-D01	0,36
LP-D02	0,20
LP-D03	0,37
LP-D04	0,03
LP-D05	0,03
Promedio	0,20

Anexo A. Fichas técnicas de medición de evaporación en domos (Campaña N°8)

Anexo B. Fichas técnicas de monitoreo hidroquímico (Campaña N°8)

Anexo C. Informes de resultados de análisis de laboratorio