

CORPORACIÓN NACIONAL DEL COBRE DE CHILE

VICEPRESIDENCIA DE PROYECTOS

CS-064 SERVICIO DE MONITOREO HÍDRICO Y
METEOROLÓGICO, PERIODO 2021-2022
PROYECTO RAJO INCA

4600019896-06310-INFSU-000052

ESTACIONES METEOROLÓGICAS

INFORME SEMESTRAL
SALAR DE PEDERNALES
DICIEMBRE 2022



ESTADO DE REVISIÓN DE DOCUMENTO

REV N°	FECHA	EMITIDO PARA	POR	REVISADO POR	APROBADO POR	APROBADO POR
0	12-04-23	REVISION CODELCO	PE	Hely Torrealba	HT	ROL
B	24-02-23	REVISION CODELCO	PE	Hely Torrealba	HT	ROL
				AGQ CHILES.A.	CBG	CODELCO

Nº de Estado de Revisión
1 Sin observaciones
2 Con observaciones
3 HT El documento requiere mayor desarrollo
4 No revisado por Codelco
Las observaciones incluidas son un aporte a la globalidad, en ningún caso se libera con éstas la responsabilidad de la calidad del diseño encomendado.



Pág. 1 de 34

4600019896-06310-INFSU-000052

Rev.0

Monitoreo hídrico y meteorológico 2021-2022

Estaciones meteorológicas
Salar de Pedernales

Segundo Semestre 2022



Abril 2023

1001_AGQ_Meteo_Diciembre2022_SPED_v0

Índice

Resumen Ejecutivo	7
1 Introducción.....	9
1.1 Objetivos.....	9
2 Antecedentes	10
3 Metodología	11
3.1 Descarga de datos.....	11
3.2 Variables meteorológicas	11
4 Resultados	12
4.1 Precipitación	12
4.2 Dirección y velocidad de viento.....	14
4.3 Temperatura ambiente.....	18
4.4 Humedad relativa.....	19
4.5 Presión atmosférica	20
4.6 Radiación solar	22
4.7 Nivel de agua en estanque y piezómetro	23
5 Discusión de resultados	25
5.1 Precipitación y altura de nieve	25
5.2 Dirección y velocidad del viento	25
5.3 Temperatura ambiental	26
5.4 Humedad relativa.....	27
5.5 Presión atmosférica	27
5.6 Radiación solar	27

5.7	Nivel de agua en el estanque y en el piezómetro	27
5.8	Evaporación.....	28
6	Conclusiones.....	30
7	Referencias	32
Anexo A.	Compromisos Ambientales.....	34
Anexo B.	Certificaciones ETFA	34
Anexo C.	Variables Climáticas	34

Índice de Tablas

Tabla 2-1: Coordenadas de las estaciones meteorológicas en el sector Salar de Pedernales.....	10
Tabla 3-1: Variables climáticas de monitoreo en cada estación meteorológica.	11

Índice de Figuras

Figura 2-1. Plano general de ubicación de las estaciones meteorológicas en el sector Salar de Pedernales.	10
Figura 4-1: Precipitación y altura de nieve diaria en estación La Ola.	12
Figura 4-2: Precipitación y altura de nieve diaria en estación Los Arroyos.	13
Figura 4-3: Precipitación y altura de nieve diaria en estación Centro Salar.	14
Figura 4-4: Rosa de velocidad direccional expresada en porcentaje de ocurrencia (La Ola).	16
Figura 4-5: Rosa de velocidad direccional expresada en porcentaje de ocurrencia (Los Arroyos).	16
Figura 4-6: Rosa de velocidad direccional expresada en porcentaje de ocurrencia (Centro Salar).	16
Figura 4-7: Velocidad media diaria en estación La Ola.	17
Figura 4-8: Velocidad media diaria en estación Los Arroyos.	17
Figura 4-9: Velocidad media diaria en estación Centro Salar.	17
Figura 4-10: Temperatura ambiental media diaria en estación La Ola.	18
Figura 4-11: Temperatura ambiental media diaria en estación Los Arroyos.	18
Figura 4-12: Temperatura ambiental media diaria en estación Centro Salar.	19
Figura 4-13: Humedad relativa media diaria en estación La Ola.	19
Figura 4-14: Humedad relativa media diaria en estación Los Arroyos.	20
Figura 4-15: Humedad relativa media diaria en estación Centro Salar.	20
Figura 4-16: Presión atmosférica media diaria en estación La Ola.	21
Figura 4-17: Presión atmosférica media diaria en estación Los Arroyos.	21
Figura 4-18: Presión atmosférica media diaria en estación Centro Salar.	22
Figura 4-19: Radiación solar media diaria en estación La Ola.	22
Figura 4-20: Radiación solar media diaria en estación Los Arroyos.	23
Figura 4-21: Radiación solar media diaria en estación Centro Salar.	23
Figura 4-22: Nivel de agua medio diario medido en el estanque y en el piezómetro en la estación Centro Salar.	24

Resumen Ejecutivo

El presente Informe Semestral de Meteorología corresponde a la exposición de la estadística descargada de las 3 estaciones meteorológicas (La Ola, Los Arroyos y Centro Salar) ubicadas en el sector del Salar de Pedernales y al análisis efectuado a las variables medidas en dichas estaciones. Los datos descargados corresponden a los registrados entre los meses de julio y diciembre del 2022, que conforman el segundo semestre del 2022. Cabe destacar que en la estación Los Arroyos no se dispone de la información meteorológica del cuarto trimestre 2022, existiendo un salto en los datos para los meses de octubre, noviembre y diciembre 2022, debido a una falla en el sistema la cual fue subsanada en enero 2023.

Las variables analizadas corresponden a la precipitación, altura de nieve, dirección y velocidad del viento, temperatura, humedad relativa, presión barométrica y radiación solar en las estaciones La Ola y Los Arroyos, mientras que en la estación Centro Salar, además de las variables anteriores, se añade el nivel de agua en el estanque (asociado al lisímetro) y en el piezómetro.

En general, se observa que los comportamientos de las variables meteorológicas en las tres estaciones son similares en el transcurso del tiempo. Esto ocurre principalmente en las variables de temperatura, velocidad del viento, humedad relativa, presión y radiación solar.

En el periodo evaluado las estaciones La Ola y Los Arroyos registraron precipitaciones durante julio de 2022, de 2,60 y 4,00 mm en La Ola y 1,80 mm en Los Arroyos. Por otro lado, en la estación Centro Salar se registran precipitaciones anómalas entre junio y octubre 2022 (hasta 371,20 mm), lo que podría indicar errores en las mediciones del sensor. Además, las tres estaciones registraron alturas de nieve entre julio y agosto de 2022, coincidentes con periodos de precipitaciones.

Durante el segundo semestre 2022, en la estación La Ola predominan las direcciones NW a WNW y SE a SSE, mientras que en la estación Los Arroyos predominan las direcciones NW a NNW y NE a ENE, y en la estación Centro Salar las direcciones W a NW y SE a ESE. Además, los vientos de mayor velocidad se manifiestan según la primera dirección mencionada anteriormente en cada estación (por sobre los 7 m/s).

Respecto a la temperatura media diaria y la radiación, ambas responden a variaciones estacionales siguiendo una tendencia ascendente en el semestre reportado, con temperaturas entre -11,24°C y 13,76°C y radiación máxima de 430,72 W/m² en la estación La Ola; temperaturas entre -15,79°C y 2,74°C y radiación máxima de 425,08 W/m² en la estación Los

Arroyos; y temperaturas entre $-9,98^{\circ}\text{C}$ y $12,13^{\circ}\text{C}$ y radiación máxima de $394,08 \text{ W/m}^2$ en la estación Centro Salar.

Por otro lado, la humedad presenta una mayor variación diaria frente a los otros parámetros meteorológicos, también coincidente con variaciones estacionales. Durante el semestre reportado varía entre un 12,11% y 80,82% en la estación La Ola, entre un 16,44% y 86,11% en la estación Los Arroyos, y entre 5,62% y 73,75% en la estación Centro Salar.

Además, la presión barométrica se ha mantenido constante durante el periodo reportado, con valores en torno a los 666 mbar en la estación La Ola, alrededor de 630 mbar en la estación Los Arroyos y en los 683 mbar en la estación Centro Salar.

Finalmente, en cuanto a los registros de los sensores de nivel en el piezómetro y en estanque que componen el lisímetro ubicado en la estación Centro Salar, se recomienda una inspección técnica de su correcto funcionamiento, verificando a través del llenado del estanque la correcta lectura y la medición contrastada con pozómetro en el piezómetro asociado.

1 Introducción

La División Salvador (DSAL) de Codelco Chile se encuentra ubicada en la Región de Atacama, comuna de Diego de Almagro, a 5,2 kilómetros de la ciudad El Salvador. DSAL se ha comprometido, mediante un Plan de Seguimiento Ambiental Voluntario, al monitoreo de diversos componentes ambientales de la cuenca Salar de Pedernales, incluyendo dentro de estos las variables climatológicas, con la finalidad de garantizar la conservación de las actuales zonas de vegetación activas del tipo SVAHT localizadas al suroeste del salar, así como controlar la extensión del cono de depresión de los pozos de bombeo asociados al Proyecto Rajo Inca (PRI), aprobado mediante la Resolución Exenta N°19 del 28 de febrero de 2020 (todos estos documentos son incluidos en el Anexo A).

Con lo anterior, DSAL solicitó a AGQ la descarga trimestral de la información meteorológica en tres estaciones del sector, lo que permite monitorear las variables climáticas que puedan afectar a los niveles y el volumen en el acuífero, tal y como se comprometió en el Plan de Seguimiento Ambiental Voluntario (PSAV) antes mencionado (Apéndice 1 del Anexo 1-2 de la Adenda Complementaria Excepcional).

El presente documento consolida la información meteorológica del segundo semestre del 2022. Cabe mencionar que la frecuencia de medición de las variables climáticas es cada 5, 15 y 60 minutos, según la estación meteorológica revisada, y si bien la descarga de datos se realiza de manera trimestral, la entrega de la información a la autoridad es de carácter semestral.

Además, cabe indicar que AGQ se trata de una “Entidad Técnica de Fiscalización Ambiental” (ETF) debidamente inscrita en el registro de la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA) y que cuenta con las resoluciones exentas pertinentes, adjuntas en el Anexo B, para la correcta ejecución de los trabajos.

1.1 Objetivos

El presente informe tiene como objetivo cumplir con el PSAV en el control de las aguas subterráneas del sector Salar de Pedernales (Proyecto Rajo Inca) en lo que respecta al control de las diferentes variables climáticas comprometidas.

2 Antecedentes

Como parte de los compromisos establecidos, se incluye la realización de un monitoreo de las variables meteorológicas de forma trimestral en tres estaciones meteorológicas en la cuenca Salar de Pedernales. El nombre, coordenadas y altura de cada una de las estaciones se indican en la Tabla 2-1. Además, la ubicación de estas se presenta en la Figura 2-1.

Tabla 2-1: Coordenadas de las estaciones meteorológicas en el sector Salar de Pedernales.

Nombre de estación	Este WGS84 (m)	Norte WGS84 (m)	Altura (m s.n.m.)
La Ola	494.019	7.071.078	3.550
Los Arroyos	501.854	7.054.150	3.865
Centro Salar	490.106	7.095.633	3.362

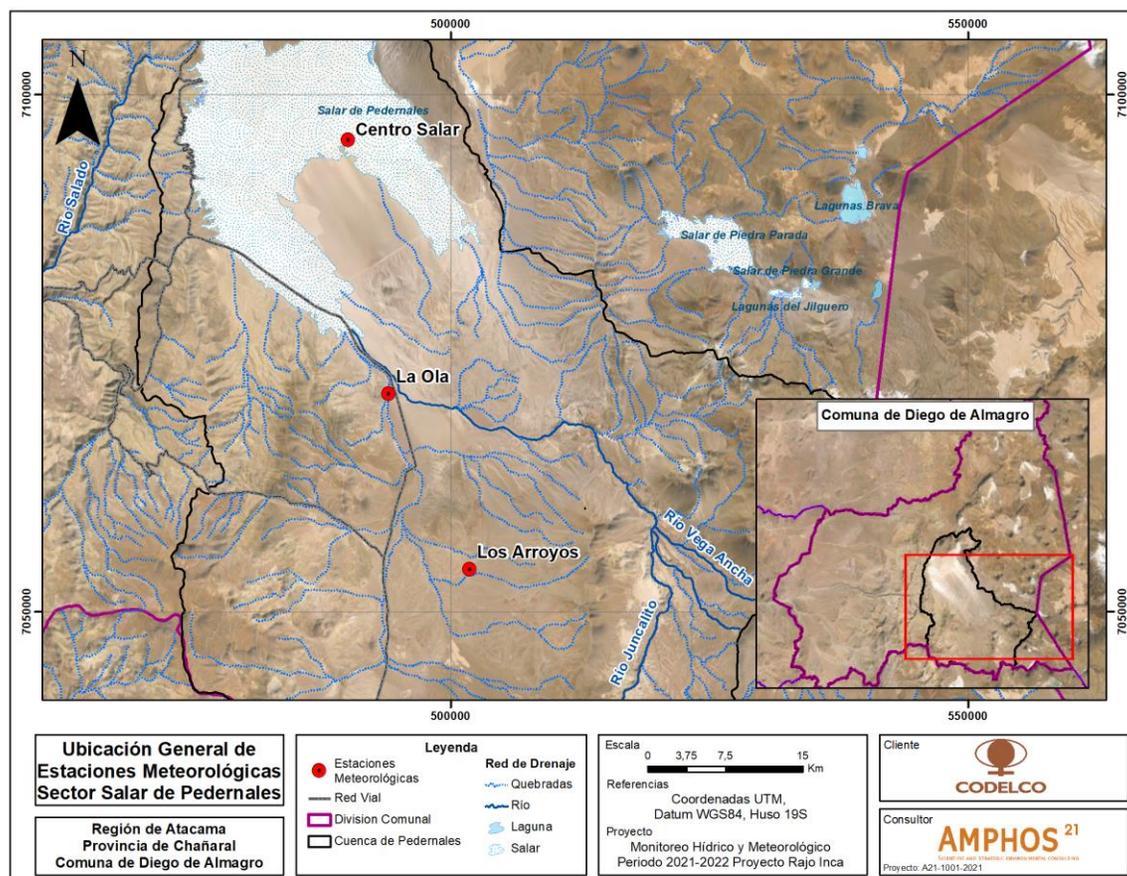


Figura 2-1. Plano general de ubicación de las estaciones meteorológicas en el sector Salar de Pedernales.

3 Metodología

3.1 Descarga de datos

Los datos son descargados trimestralmente, realizándose dos descargas durante el semestre (tercer y cuarto trimestre de 2022). La descarga de la información es vía remota en las estaciones La Ola y Los Arroyos, mientras que los datos que registra la estación Centro Salar se descargan in situ.

La cantidad de datos descargados depende de la frecuencia en la que mide cada una de las estaciones meteorológicas. La estación La Ola realiza mediciones de las variables cada 5 minutos, la estación Los Arroyos cada 15 minutos y la estación Centro Salar cada 1 hora.

Cabe destacar que en la estación Los Arroyos existe un salto en la información meteorológica disponible, ya que solo se tiene información hasta el 4 de octubre 2022. Debido a esto no hay datos meteorológicos del cuarto trimestre 2022.

3.2 Variables meteorológicas

Las variables meteorológicas que monitorea cada estación se presentan en la Tabla 3-1. Durante noviembre de 2021 en la estación Centro Salar se realizó la instalación de nuevos sensores de altura de nieve, precipitación y radiación solar. Adicionalmente, la estación Centro Salar presenta un lisímetro, donde se registra el nivel de agua en el estanque y el nivel de agua en un piezómetro cercano al instrumento.

Tabla 3-1: Variables climáticas de monitoreo en cada estación meteorológica.

Estación	Altura nieve	Humedad relativa	Precipitación	Rad. Solar	Presión	Temperatura	Vel-Dir Viento	Lisímetro
La Ola	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No
Los Arroyos	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No
Centro Salar	Si	Sí	Sí	Si	Sí	Sí	Sí	Sí

Nota: en noviembre de 2021 fueron instalados nuevos sensores de altura de nieve, precipitación y radiación solar en la estación Centro Salar.

4 Resultados

4.1 Precipitación

En la Figura 4-1, Figura 4-2 y Figura 4-3 se presentan las precipitaciones y alturas de nieve diarias para las estaciones La Ola, Los Arroyos y Centro Salar respectivamente, desde diciembre de 2020 hasta diciembre de 2022. Cabe destacar que en la estación Los Arroyos no hay información meteorológica disponible del cuarto trimestre 2022 (falla en el sistema subsanada en enero 2023). Además, la altura de nieve en la estación Centro Salar presenta registros desde el 18 de noviembre de 2021, cuando se realizó la instalación del sensor de dicho parámetro.

En el Anexo C adjunto se entregan las mediciones desde diciembre de 2020 a diciembre de 2022.

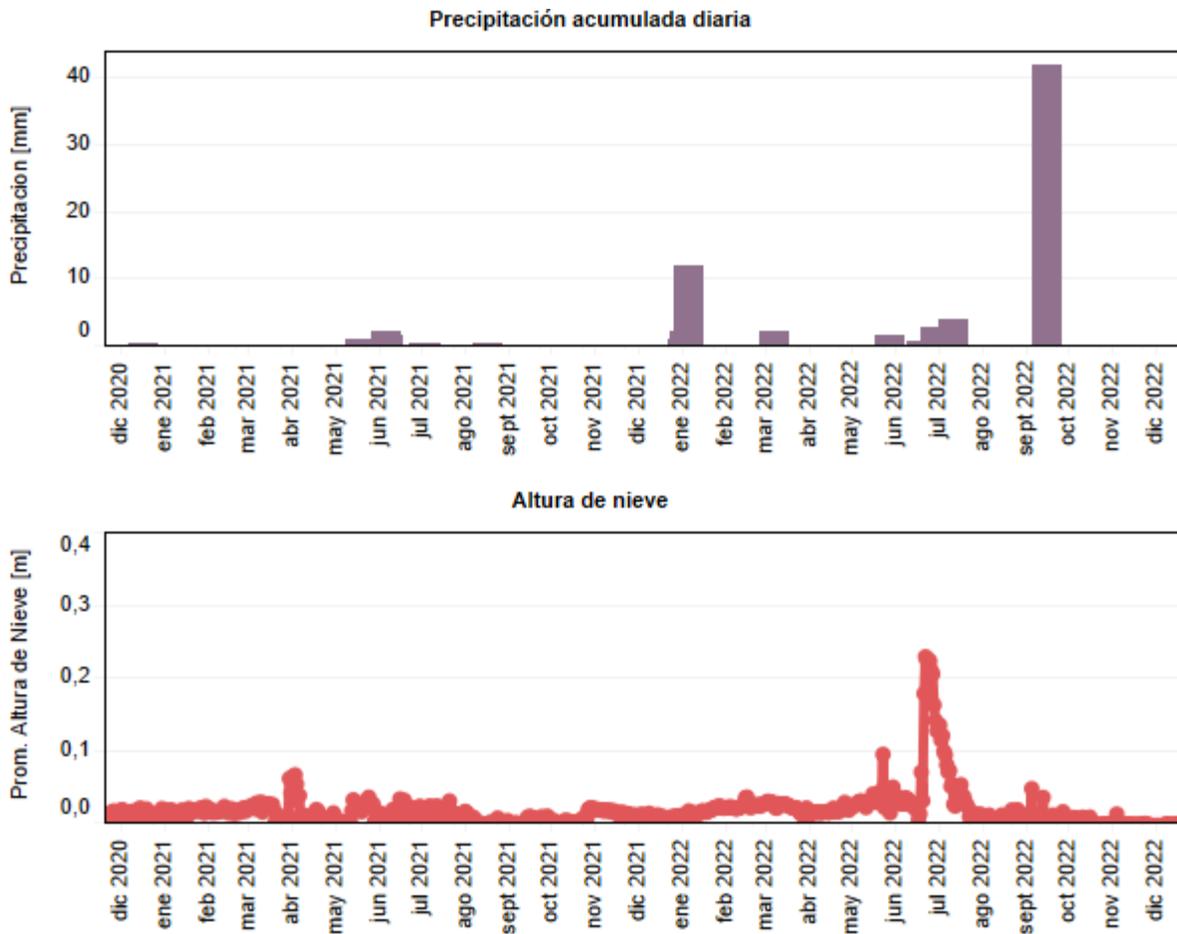


Figura 4-1: Precipitación y altura de nieve diaria en estación La Ola.

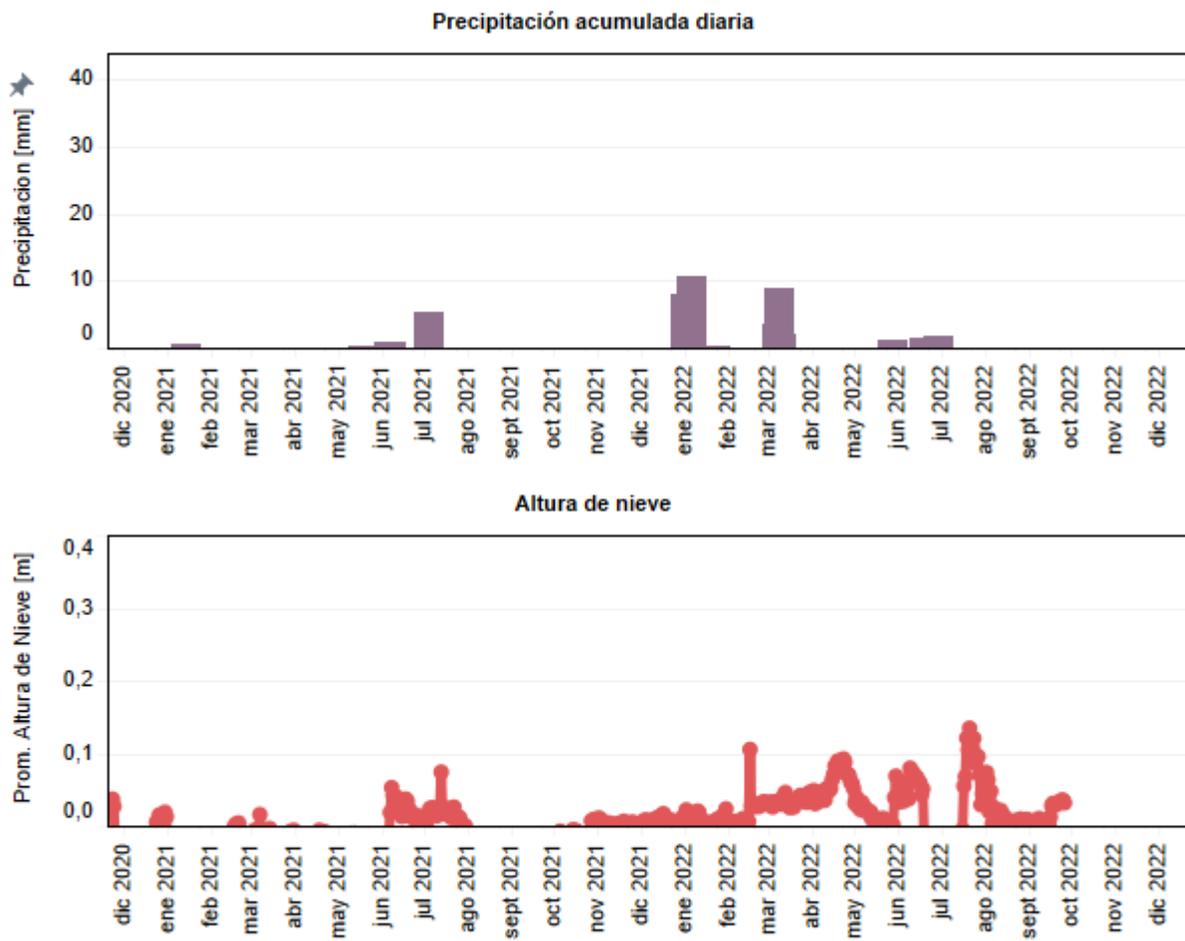


Figura 4-2: Precipitación y altura de nieve diaria en estación Los Arroyos.

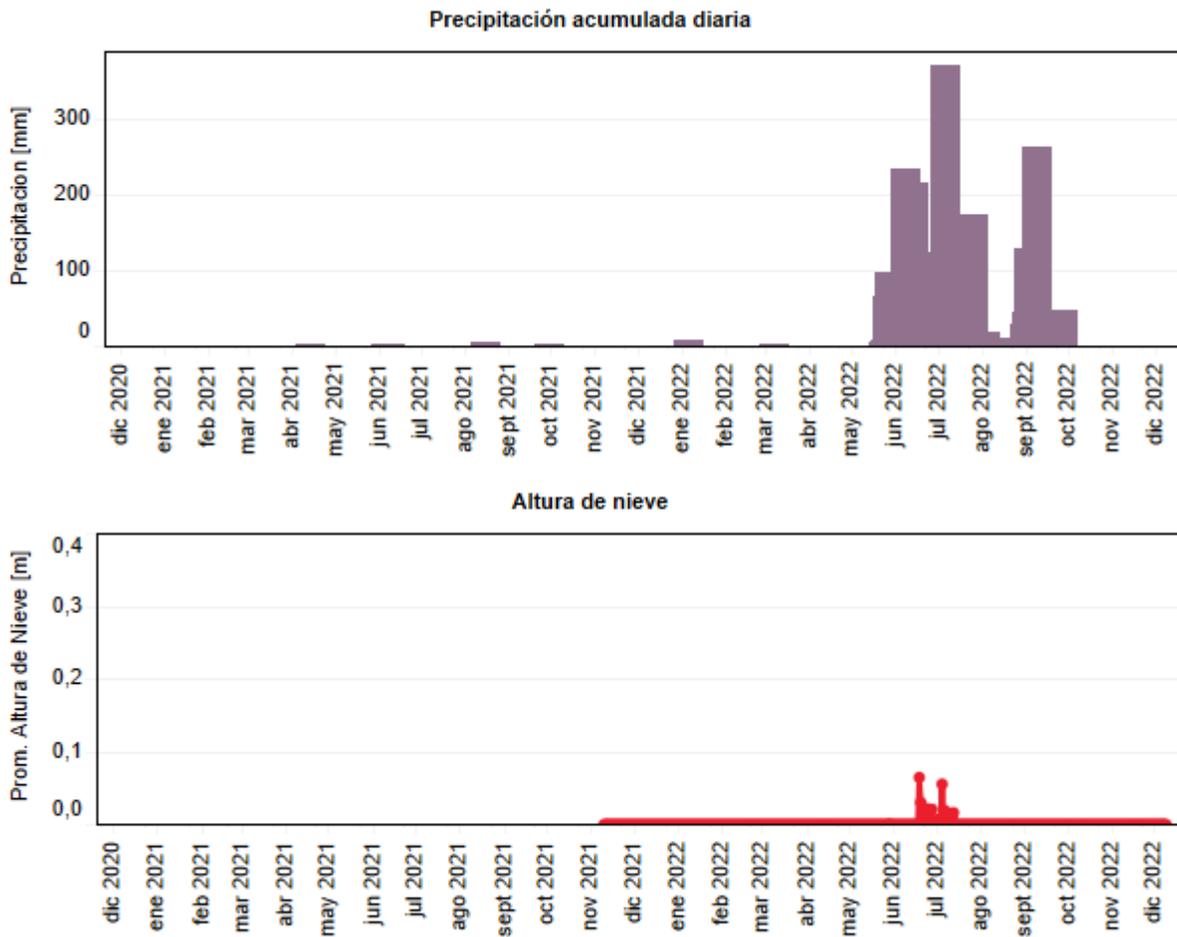
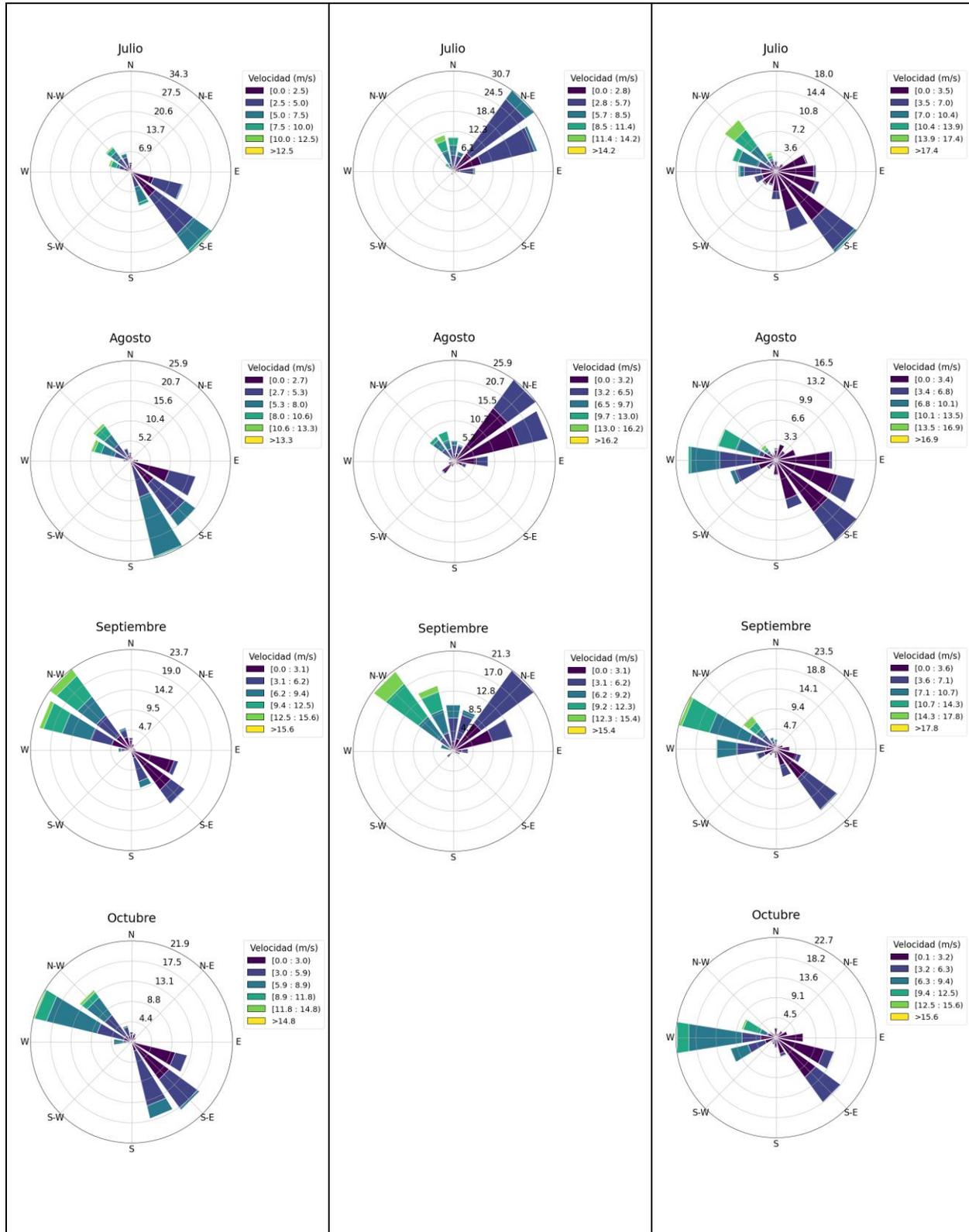
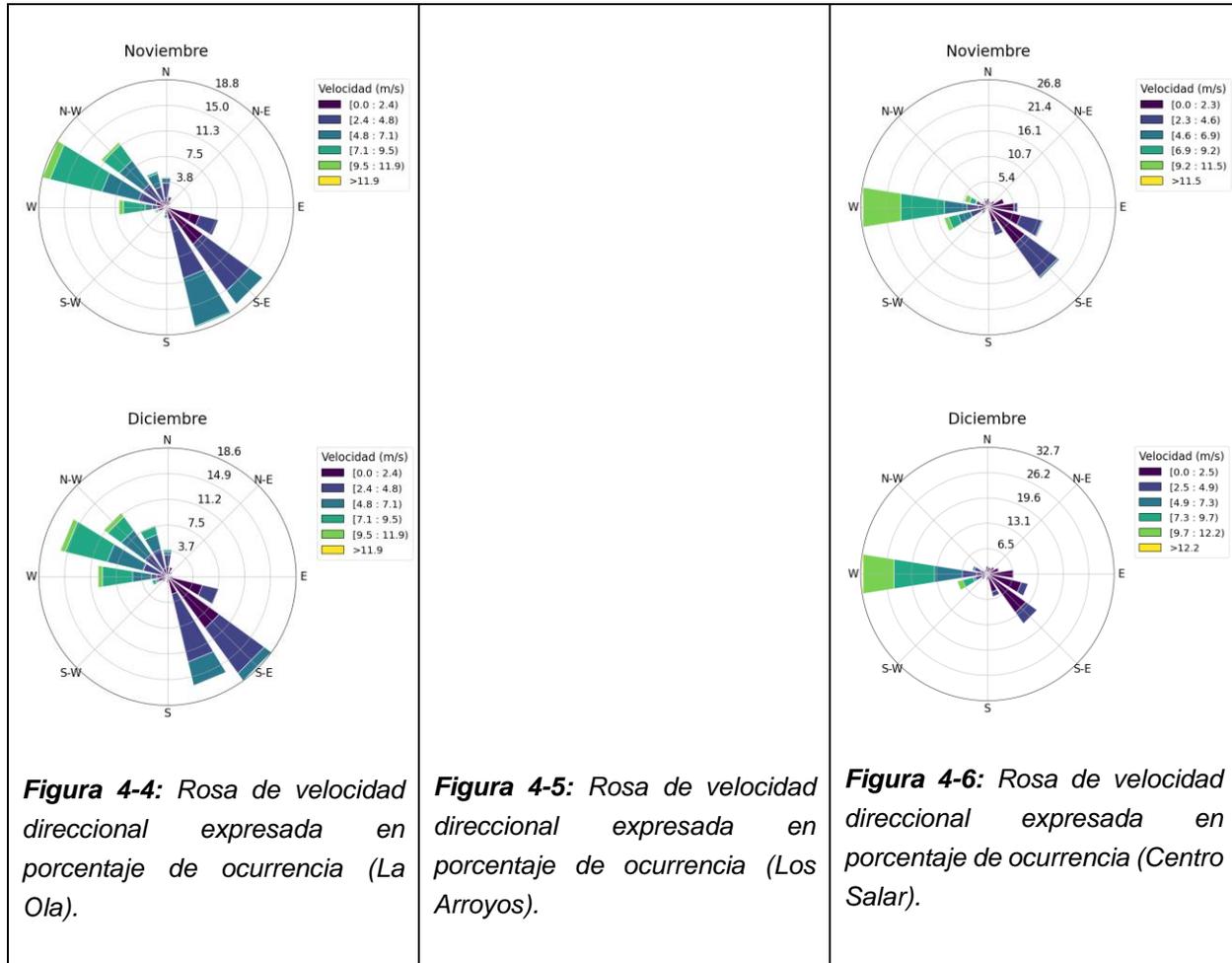


Figura 4-3: Precipitación y altura de nieve diaria en estación Centro Salar.

4.2 Dirección y velocidad de viento

En la Figura 4-4, Figura 4-5 y Figura 4-6 se representan las direcciones y velocidades del viento, para las estaciones La Ola, Los Arroyos y Centro Salar respectivamente, en los meses que conforman el semestre reportado. Las clases en que se agrupan los vientos (dirección y velocidad) presentadas en las figuras se encuentran normalizadas según la cantidad total de datos de cada mes reportado, es decir, el tamaño de la clase indica la ocurrencia del evento. Cabe destacar que en la estación Los Arroyos no hay información meteorológica disponible del cuarto trimestre 2022 (falla en el sistema subsanada en enero 2023).





Por otra parte, la Figura 4-7, Figura 4-8 y Figura 4-9 presentan las velocidades medias diarias registradas en las estaciones La Ola, Los Arroyos y Centro Salar respectivamente, desde diciembre de 2020 hasta diciembre de 2022. Cabe destacar que en la estación Los Arroyos no hay información meteorológica disponible del cuarto trimestre 2022 (falla en el sistema subsanada en enero 2023).

Además, en el Anexo C adjunto se entregan las mediciones desde diciembre de 2020 a diciembre de 2022.

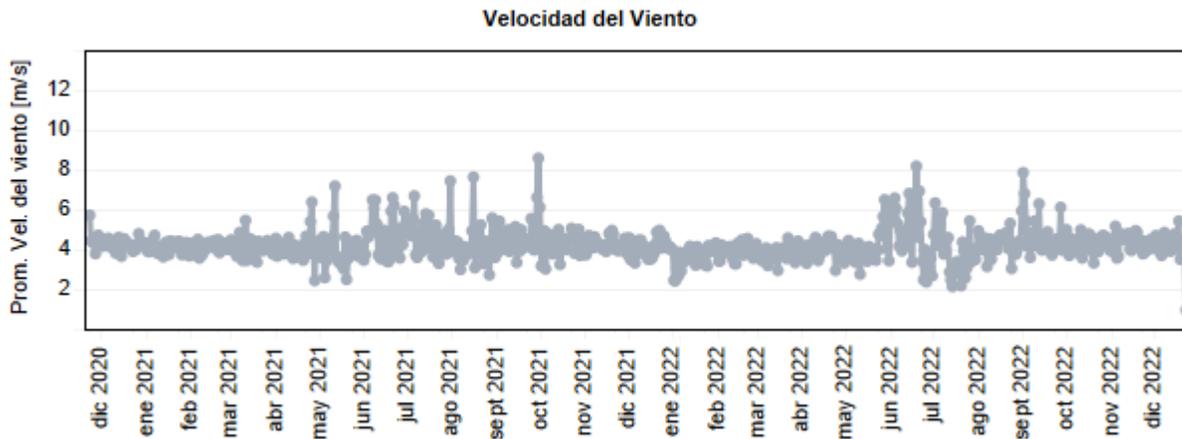


Figura 4-7: Velocidad media diaria en estación La Ola.

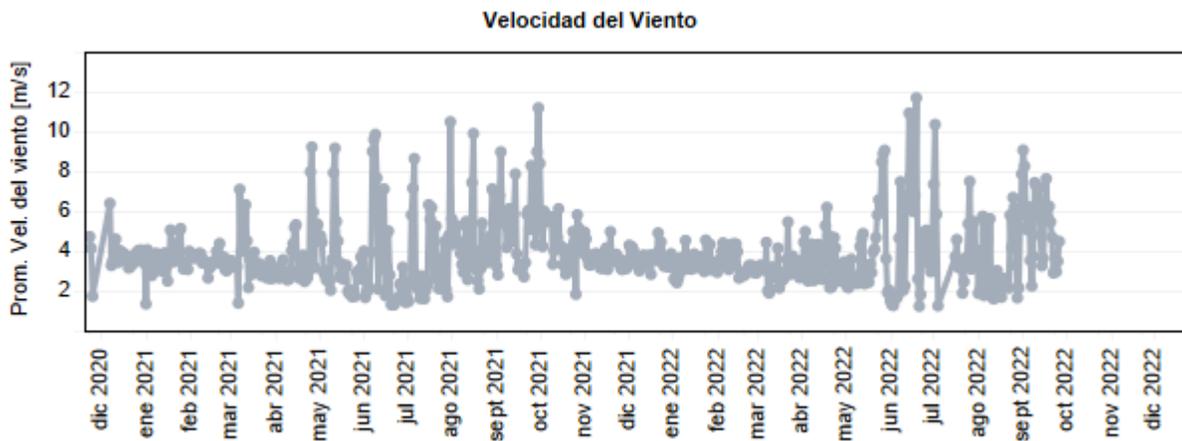


Figura 4-8: Velocidad media diaria en estación Los Arroyos.

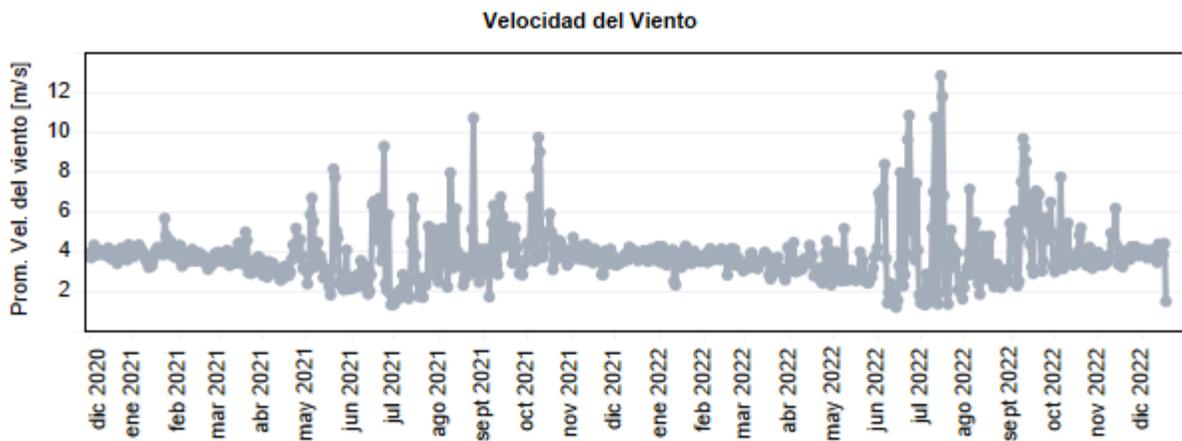


Figura 4-9: Velocidad media diaria en estación Centro Salar.

4.3 Temperatura ambiente

En la Figura 4-10, Figura 4-11 y Figura 4-12 se presentan las temperaturas ambientales medias diarias registradas en las estaciones La Ola, Los Arroyos y Centro Salar respectivamente, desde diciembre de 2020 hasta diciembre de 2022 y, además, en el Anexo C adjunto se entregan las mediciones para el periodo indicado. Cabe destacar que en la estación Los Arroyos no hay información meteorológica disponible del cuarto trimestre 2022 (falla en el sistema subsanada en enero 2023).

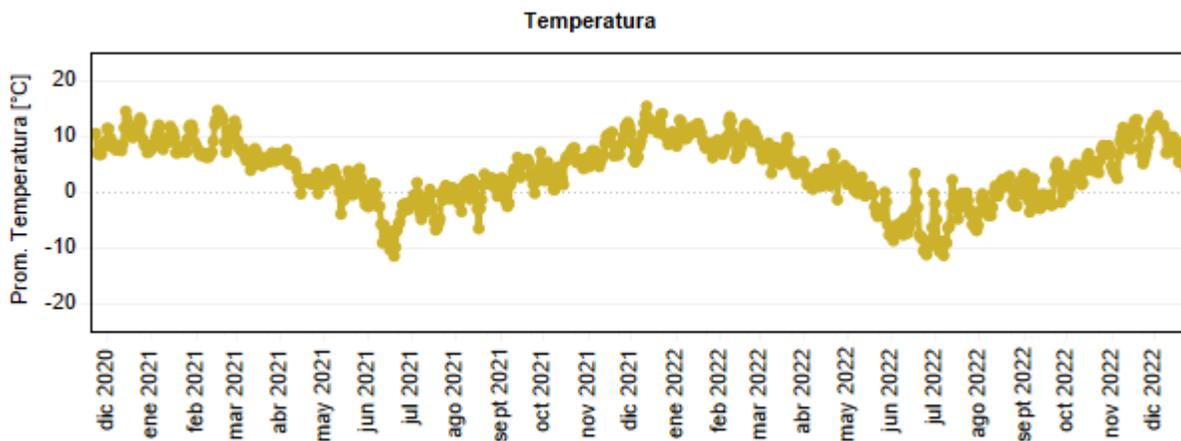


Figura 4-10: Temperatura ambiental media diaria en estación La Ola.

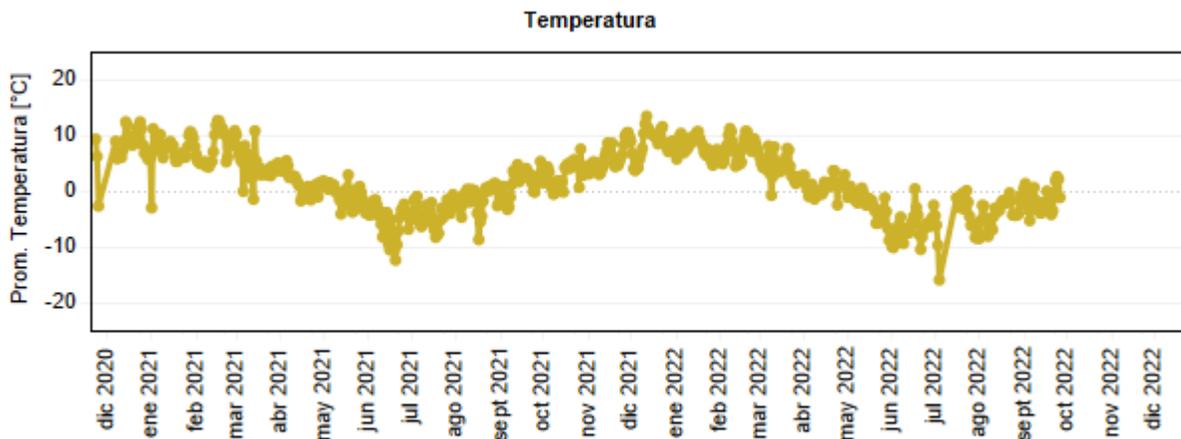


Figura 4-11: Temperatura ambiental media diaria en estación Los Arroyos.

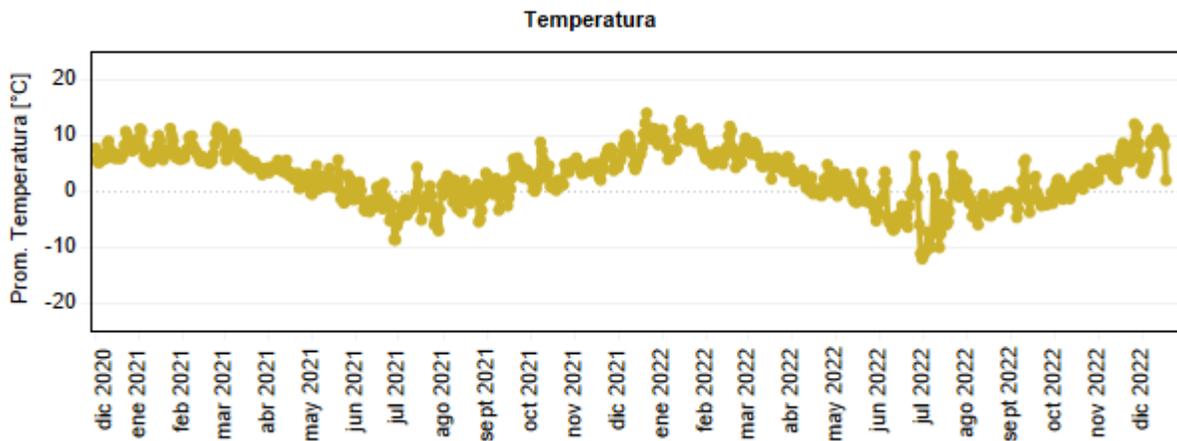


Figura 4-12: Temperatura ambiental media diaria en estación Centro Salar.

4.4 Humedad relativa

En la Figura 4-13, Figura 4-14 y Figura 4-15 se presentan la humedad relativa media diaria registrada en las estaciones La Ola, Los Arroyos y Centro Salar respectivamente, desde diciembre de 2020 hasta diciembre de 2022. Cabe destacar que en la estación Los Arroyos no hay información meteorológica disponible del cuarto trimestre 2022 (falla en el sistema subsanada en enero 2023).

En el Anexo C adjunto se entregan las mediciones desde diciembre de 2020 a diciembre de 2022.

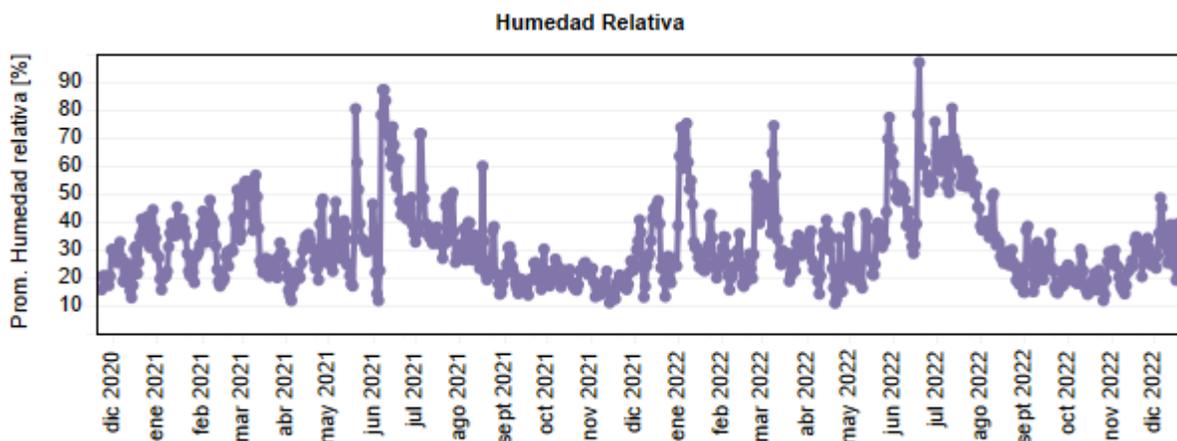


Figura 4-13: Humedad relativa media diaria en estación La Ola.

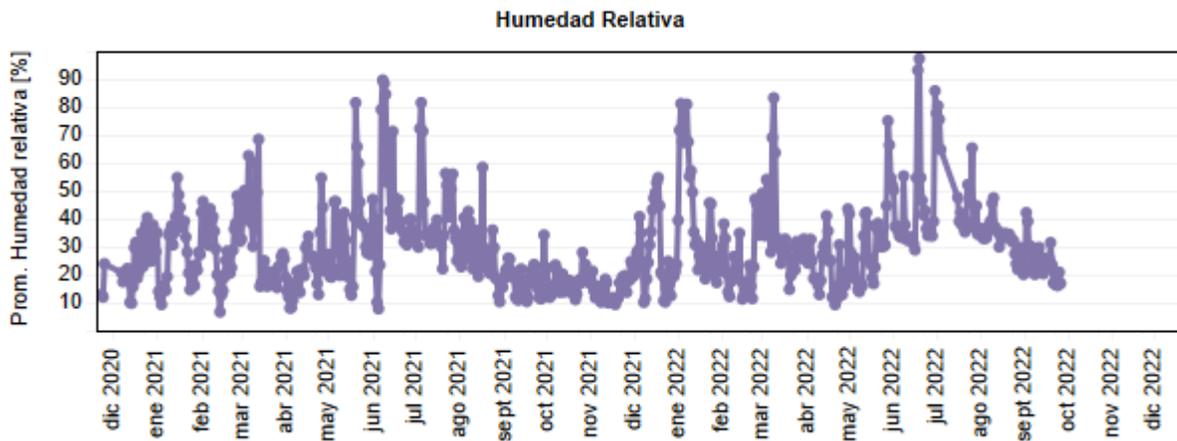


Figura 4-14: Humedad relativa media diaria en estación Los Arroyos.

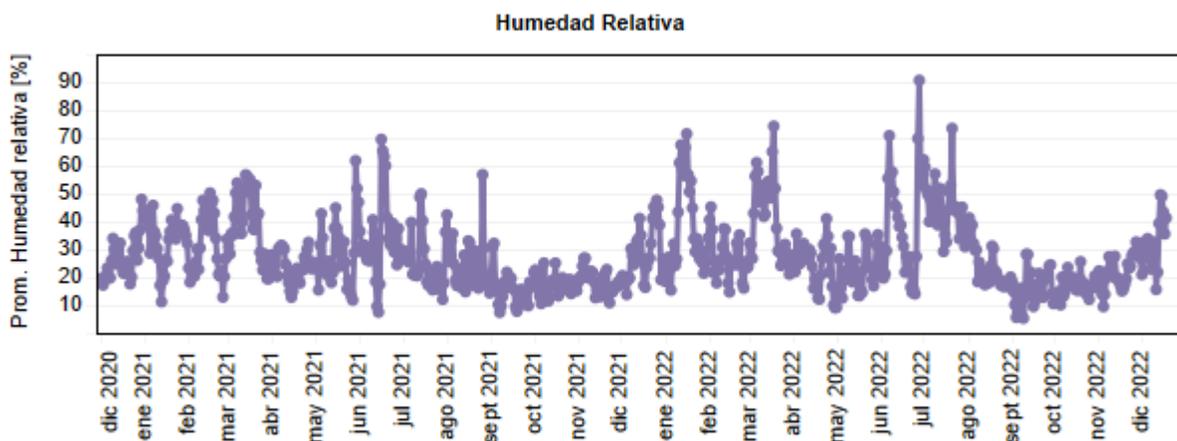


Figura 4-15: Humedad relativa media diaria en estación Centro Salar.

4.5 Presión atmosférica

En la Figura 4-16, Figura 4-17 y Figura 4-18 se presentan la presión atmosférica media diaria registrada en las estaciones La Ola, Los Arroyos y Centro Salar respectivamente, desde diciembre de 2020 hasta diciembre de 2022. Cabe destacar que en la estación Los Arroyos no hay información meteorológica disponible del cuarto trimestre 2022 (falla en el sistema subsanada en enero 2023). Además, en el Anexo C adjunto se entregan las mediciones para el periodo mencionado.

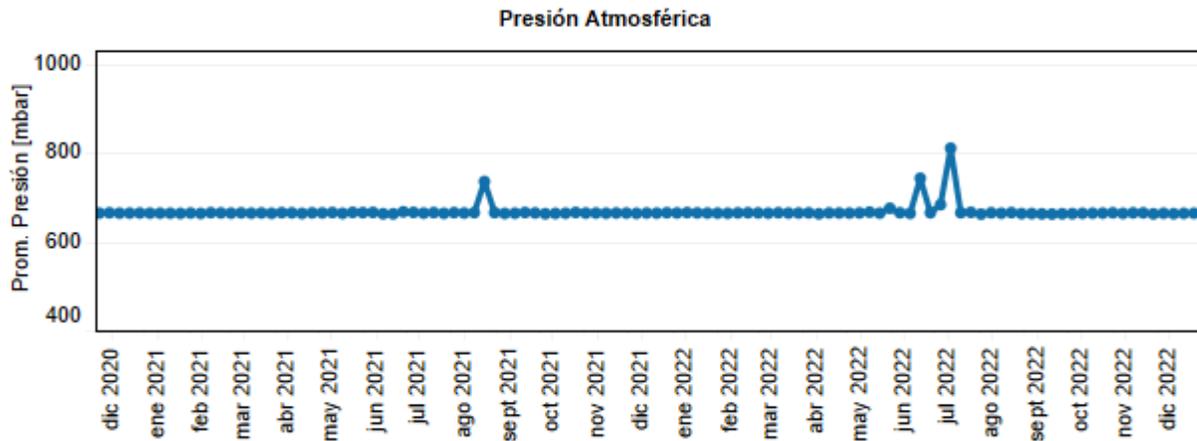


Figura 4-16: Presión atmosférica media diaria en estación La Ola.

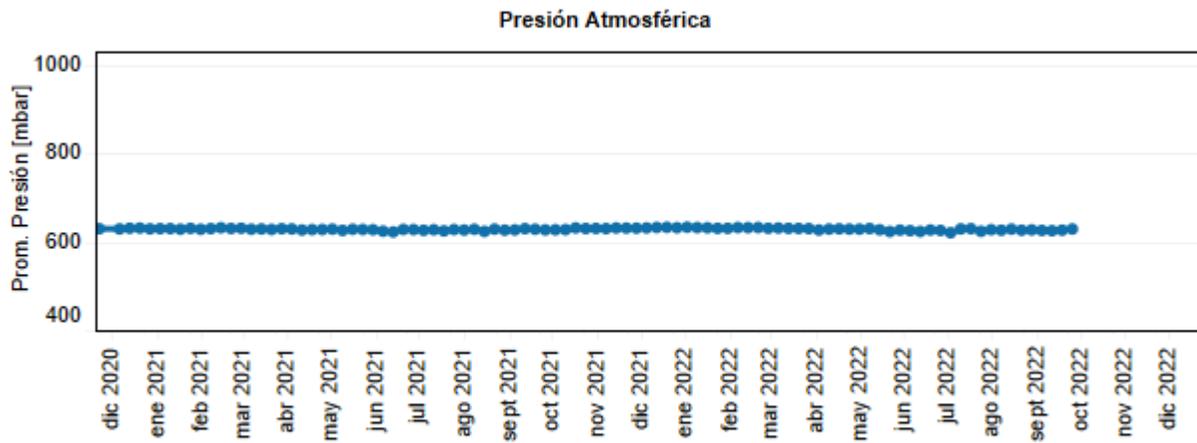


Figura 4-17: Presión atmosférica media diaria en estación Los Arroyos.

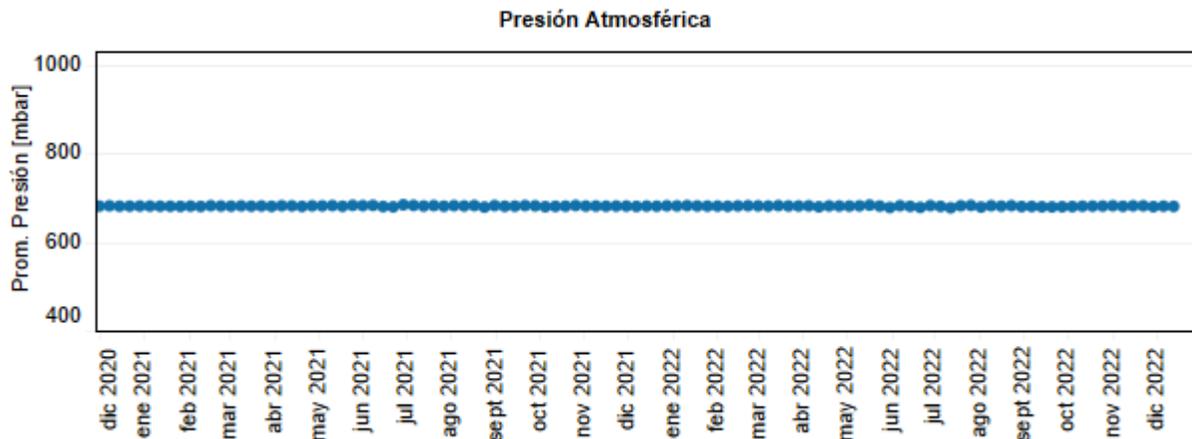


Figura 4-18: Presión atmosférica media diaria en estación Centro Salar.

4.6 Radiación solar

En la Figura 4-19, Figura 4-20 y Figura 4-21 se presentan la radiación solar media diaria registrada en las estaciones La Ola, Los Arroyos y Centro Salar, respectivamente, desde diciembre de 2020 hasta diciembre de 2022. Cabe destacar que en la estación Los Arroyos no hay información meteorológica disponible del cuarto trimestre 2022 (falla en el sistema subsanada en enero 2023). Además, la estación Centro Salar tiene registro desde el 18 de noviembre de 2021, cuando se realizó la instalación del sensor de radiación solar.

En el Anexo C adjunto se entregan las mediciones desde diciembre de 2020 a diciembre de 2022.

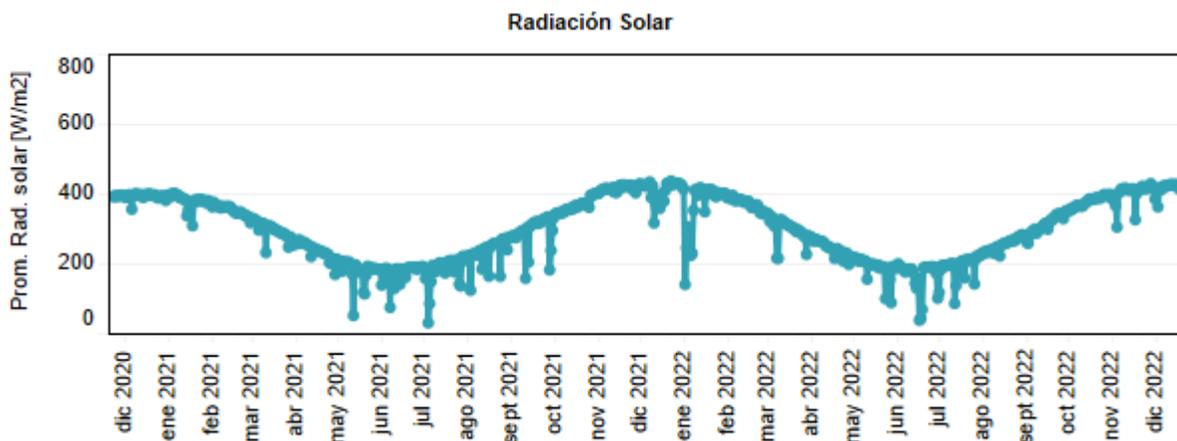


Figura 4-19: Radiación solar media diaria en estación La Ola.

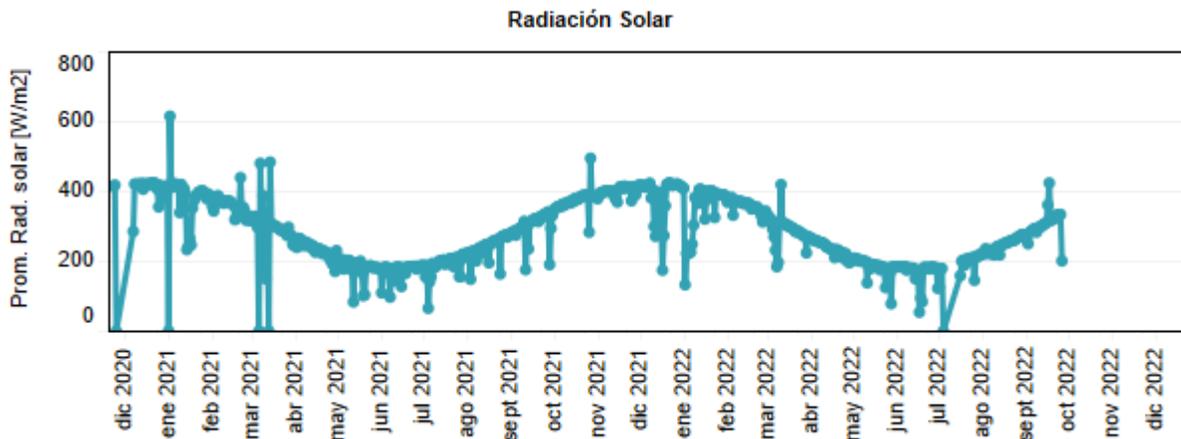


Figura 4-20: Radiación solar media diaria en estación Los Arroyos.

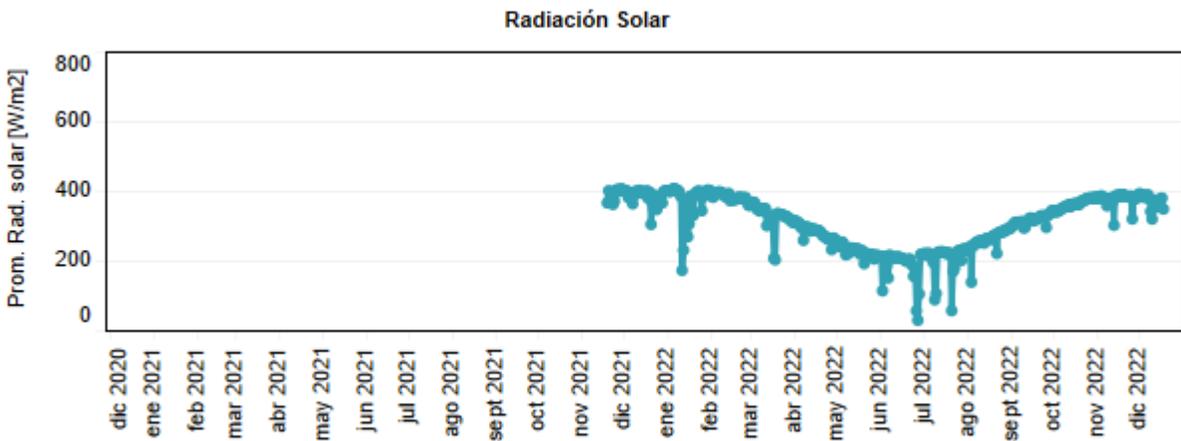


Figura 4-21: Radiación solar media diaria en estación Centro Salar.

4.7 Nivel de agua en estanque y piezómetro

En la Figura 4-22 se presenta el nivel de agua medio diario en el estanque y el nivel de agua en el piezómetro, registrado en la estación Centro Salar, desde diciembre de 2020 hasta diciembre 2022 y, en el Anexo C adjunto se entrega el registro de mediciones.

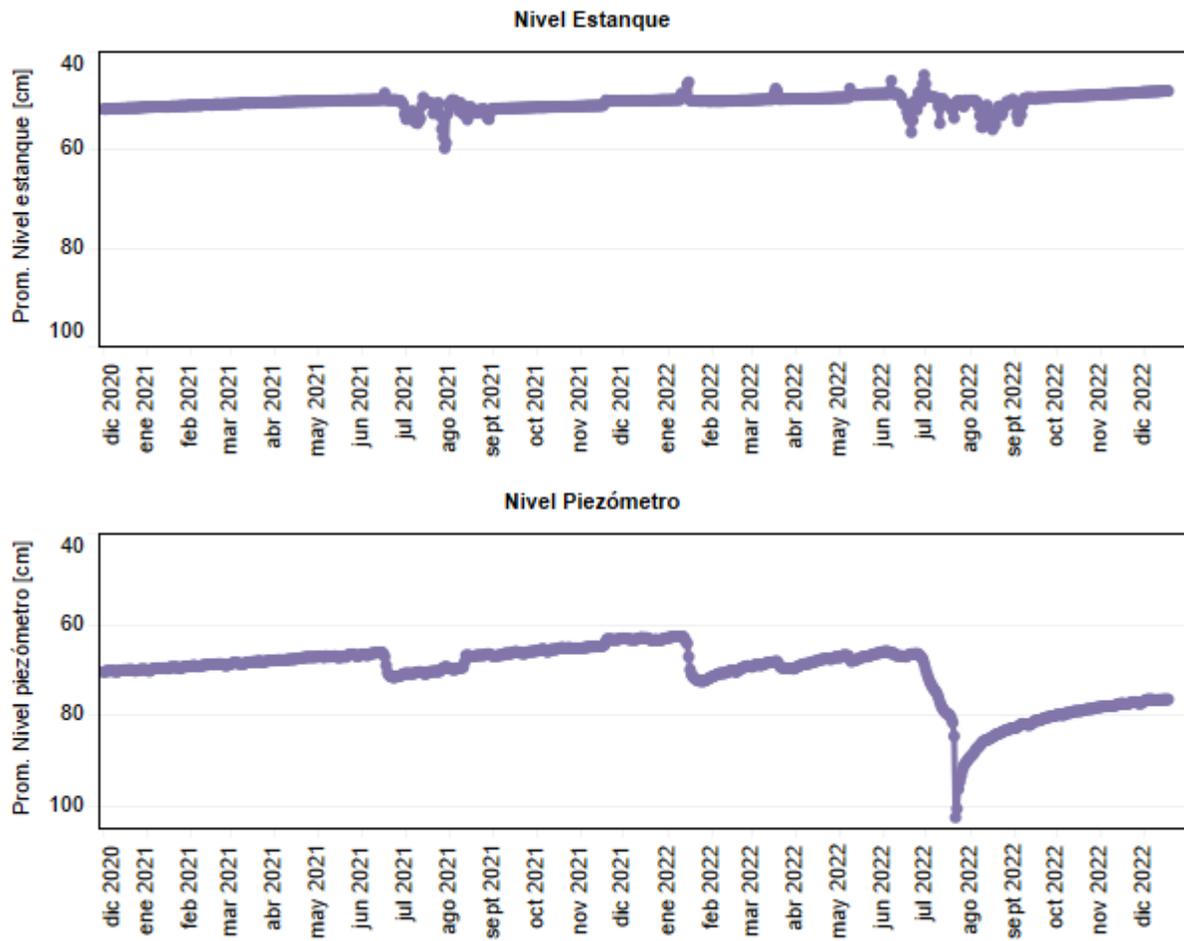


Figura 4-22: Nivel de agua medio diario medido en el estanque y en el piezómetro en la estación Centro Salar.

5 Discusión de resultados

Las variaciones y tendencias exhibidas de las variables meteorológicas en las estaciones ubicadas en el sector Salar de Pedernales, especialmente en el segundo semestre de 2022, son discutidas en los siguientes puntos. Cabe destacar que en la estación Los Arroyos no hay información meteorológica disponible del cuarto trimestre 2022.

5.1 Precipitación y altura de nieve

Respecto a las precipitaciones acumuladas, durante el tercer trimestre de 2022 (julio a septiembre 2022) la estación La Ola registró precipitaciones líquidas de 2,60 y 4,00 mm en julio de 2022 y de 41,80 mm en septiembre 2022. En la estación Los Arroyos se registra un evento de precipitación en julio 2022 de 1,80 mm. Por último, en la estación Centro Salar se registraron precipitaciones, de carácter anómalo, entre junio y septiembre 2022 de hasta 371,20 mm, lo que podría indicar errores en las mediciones del sensor. El evento de precipitación registrado en la estación La Ola durante septiembre 2022 no se presenta en la estación Los Arroyos y, por tanto, podría corresponder a un error de lectura en el sensor de la estación La Ola.

Durante el cuarto trimestre de 2022 (octubre a diciembre 2022), la estación La Ola no registró precipitaciones. En cambio, la estación Centro Salar registró un evento de precipitación líquida anómalo de 47,70 mm en octubre 2022, lo que podría indicar errores en las mediciones del sensor. Cabe mencionar que no se tiene registro de este periodo para la estación Los Arroyos, debido a una falla en el sistema la cual fue subsanada posteriormente.

Respecto al promedio diario de la altura de nieve, se observan registros en la estación La Ola durante julio 2022. Por otro lado, la estación Los Arroyos registra eventos de caída de nieve entre julio y agosto de 2022. Dichos eventos coinciden con los eventos de precipitación líquida registrados en julio 2022. Finalmente, la estación Centro Salar registra eventos de caída de nieve durante julio 2022. Cabe destacar que los datos brutos descargados del sensor indicarían mediciones puntuales o *peaks* superiores a 2 metros de altura que corresponderían a ruido propio del instrumento y que no han sido graficados (por el viento u otros factores al tratarse de un sensor de ultrasonido).

5.2 Dirección y velocidad del viento

Con respecto a la dirección y velocidad del viento registradas en el segundo semestre del 2022, se observan diferencias entre las tres estaciones.

Por un lado, la estación La Ola registra vientos de mayor velocidad (sobre 10 m/s) con direcciones NW a WNW, y vientos de menor velocidad (bajo 5 m/s) en dirección SE a SSE. Además, durante los meses de septiembre y octubre los vientos con direcciones SE y SSE se debilitan, ganando mayor importancia los vientos NW y WNW.

En la estación Los Arroyos se registran vientos de mayor velocidad (sobre 9 m/s) con direcciones preferentes NW a NNW, y vientos de menor velocidad (bajo 6 m/s) con direcciones NE a ENE. Los vientos de mayor velocidad toman mayor importancia en el mes de septiembre.

Por último, en la estación Centro Salar los vientos de mayor velocidad se manifiestan en dirección W a NW (sobre 7 m/s) y velocidades de menor magnitud en dirección SE a ESE (bajo 5 m/s). Los vientos de dirección SE a ESE se debilitan desde septiembre, tomando mayor importancia los de dirección W a NW.

Considerando la evolución de los vientos medios diarios, se observa que las tres estaciones presentan dispersión en los valores de velocidad del viento durante el segundo semestre de 2022, siguiendo una tendencia descendente hasta julio 2022, y luego leve tendencia ascendente hasta diciembre 2022. La estación La Ola presenta velocidades medias entre 2,17 m/s y 7,90 m/s, mientras que en la estación Los Arroyos se registran entre 1,27 m/s y 9,11 m/s, y en la estación Centro Salar entre 1,34 m/s y 12,86 m/s. Cabe mencionar que no se tiene información del cuarto trimestre en la estación Los Arroyos.

5.3 Temperatura ambiental

La temperatura ambiental media diaria es muy similar en las tres estaciones, evidenciándose una tendencia ascendente en el segundo semestre 2022 (periodo reportado), con un muy leve descenso en diciembre 2022 observado en la estación La Ola. Las tendencias observadas coinciden con variaciones estacionales.

En el segundo semestre 2022, la máxima temperatura media diaria registrada en la estación La Ola es de 13,76°C (diciembre 2022), en la estación Los Arroyos es de 2,74°C (octubre 2022) y en la estación Centro Salar es de 12,13°C (noviembre 2022). Cabe destacar que la estación Los Arroyos tiene registro de datos meteorológicos hasta octubre 2022, por lo que la temperatura máxima no sería representativa.

Por otro lado, la temperatura media diaria mínima se alcanza durante el mes de julio 2022 en las tres estaciones. En la estación La Ola la temperatura mínima es de -11,24°C, en la estación Los Arroyos es de -15,79°C y en la estación Centro Salar de -9,98°C.

5.4 Humedad relativa

La humedad relativa presenta una mayor variación diaria frente a los otros parámetros meteorológicos, coincidente con variaciones estacionales. De igual forma, en las estaciones La Ola y Centro Salar se observa un patrón similar en los datos medidos, con una tendencia al descenso entre julio y noviembre 2022, manteniéndose estable en octubre 2022 y siguiendo una leve tendencia ascendente entre noviembre y diciembre 2022. Cabe destacar que en la estación Los Arroyos solo se tiene información meteorológica hasta octubre 2022, por lo que no se puede apreciar el comportamiento completo, distinguiendo únicamente una tendencia descendente.

La humedad relativa media diaria en la estación La Ola varía entre un 12,11% y 80,82%, en la estación Los Arroyos varía entre un 16,44% y 86,11%, y en la estación Centro Salar los valores varían entre el 5,62% y 73,75%. Los meses con mayor humedad coinciden con los meses de invierno, mientras que en el resto de los meses se presentan humedades menores.

5.5 Presión atmosférica

La presión atmosférica en general no presenta variaciones dentro del periodo evaluado, manteniéndose en torno a los 666 mbar en la estación La Ola, alrededor de 630 mbar en la estación Los Arroyos y en los 683 mbar en la estación Centro Salar. La estación La Ola registra un aumento puntual durante agosto 2021 a 737 mbar y en junio 2022 a 745 mbar, disminuyendo posteriormente al valor de 666 mbar.

5.6 Radiación solar

La radiación solar presenta una tendencia ascendente entre julio y noviembre 2022, manteniéndose estable en diciembre 2022, debido principalmente a la variación estacional de esta variable. La radiación solar alcanza un valor máximo diario de 430,72 W/m² (diciembre 2022) en la estación La Ola, de 425,08 W/m² (septiembre 2022) en la estación Los Arroyos y de 394,08 W/m² (noviembre 2022) en la estación Centro Salar.

5.7 Nivel de agua en el estanque y en el piezómetro

En la estación Centro Salar se observa una dispersión de los registros en los meses de junio, julio y agosto de 2021, posiblemente debido a condiciones climáticas como nieve o congelación. Dichos niveles se estabilizan durante el mes de septiembre, presentándose tanto en el nivel de agua del estanque como en el piezómetro una tendencia ascendente hasta diciembre de 2021.

En el período de enero a junio 2022 el nivel de agua en el estanque mantiene la tendencia ascendente alcanzando un valor de 48,50 cm, con registros puntuales durante los períodos de lluvia que se alejan de la tendencia. Mientras que, en el caso del nivel de agua medido en el piezómetro, se observan disminuciones puntuales seguidas de una recuperación del nivel durante los meses de enero (9,91 cm), marzo (1,49 cm), mayo (1,40 cm) y junio (1,19 cm) de 2022.

Posteriormente, entre junio y septiembre 2022 se observa nuevamente dispersión en los registros del nivel del estanque, posiblemente debido a las condiciones climáticas como presencia de nieve o congelación, el cual se normaliza en octubre 2022 y continua con una tendencia ascendente hasta diciembre 2022, alcanzando un nivel de 47,96 cm. Por otra parte, el nivel registrado en el piezómetro indica una disminución desde 66,5 cm a 102,5 cm entre junio y julio 2022 y un posterior aumento hasta diciembre 2022 alcanzando un nivel de 76,49 cm.

La tendencia ascendente del nivel de agua del estanque durante los meses de verano indica que el sistema no está funcionando correctamente, puesto que deberían descender producto de la evaporación. Por otro lado, dado que el piezómetro presenta en general una tendencia al aumento en períodos de no lluvia, quiere decir que, o bien el tanque de carga o bien el tanque de ensayo presentan una filtración, provocando que se conecte el agua del acuífero con el sistema cerrado del lisímetro en cuyo caso, el lisímetro no cumpliría la función de medir la evaporación.

Cabe mencionar que los niveles en el estanque y en el piezómetro se comportan de forma opuesta durante los eventos de precipitación de enero y marzo de 2022. Esto no sería consistente con el correcto funcionamiento del sistema puesto que ambos deberían aumentar. Durante la próxima descarga de datos se realizará una inspección de los equipos para comprobar posibles fallas o verificar su correcto funcionamiento.

5.8 Evaporación

Debido a las inconsistencias medidas en el estanque y piezómetro indicadas anteriormente, en la actualidad se está realizando la comparación de resultados y revisando el cálculo de la evaporación, que serán verificados con las mediciones del siguiente reporte, cuando sea posible proceder a la descarga de datos.

Presumiblemente, y dado el rápido comportamiento de los niveles registrados en el estanque al momento de las precipitaciones en enero y marzo 2022, se podría indicar una falla en el sistema que provocaría la entrada de agua directamente en el sensor, lo cual se evidenciaría también con la rápida recuperación del nivel una vez cesa la precipitación.

Para el análisis de la información se requiere mayor detalle acerca del funcionamiento del sensor, por ejemplo, si este corrige automáticamente la presión barométrica del entorno, ya que los datos son reportados como centímetros y no como columna de agua. Además del diseño del estanque y sus características técnicas.

6 Conclusiones

El presente Informe Semestral de Meteorología corresponde a la exposición de la estadística descargada de las 3 estaciones meteorológicas ubicadas en el sector del Salar de Pedernales y al análisis efectuado a las variables medidas en dichas estaciones. Las actividades de monitoreo de variables climáticas se iniciaron en diciembre de 2020, y en el presente informe se complementan los registros con los datos descargados hasta diciembre de 2022.

Las variables analizadas en las estaciones La Ola, Los Arroyos y Centro Salar corresponden a: precipitación, altura de nieve, dirección y velocidad del viento, temperatura, humedad relativa, presión barométrica y radiación solar. Adicionalmente, en la estación Centro Salar se registra el nivel de agua en el estanque y en el piezómetro. Los datos son registrados con una frecuencia de 5 minutos en la Ola, de 15 minutos en Los Arroyos y de 1 hora en Centro Salar. La descarga de datos se realiza de forma trimestral, vía remota en las estaciones La Ola y Los Arroyos, e *in situ* en la estación Centro Salar. Cabe destacar que en la estación Los Arroyos no se dispone de información entre los meses de octubre y diciembre 2022 debido a una falla en el sistema, la cual fue reparada en enero 2023.

En general, se observa que los comportamientos de las variables meteorológicas en las tres estaciones son similares en el transcurso del tiempo. Esto ocurre principalmente en las variables de temperatura, velocidad del viento, humedad relativa, presión y radiación solar.

Durante es semestre reportado, las principales diferencias se observan en los registros de la dirección del viento, donde en la estación La Ola predominan las direcciones NW a WNW y SE a SSE, en la estación Los Arroyos las direcciones NW a NNW y NE a ENE, y en la estación Centro Salar las direcciones W a NW y SE a ESE. Además, los vientos de mayor velocidad se manifiestan según la primera dirección mencionada anteriormente en cada estación (por sobre los 7 m/s).

Durante el segundo semestre 2022, las estaciones La Ola y Los Arroyos han registrado precipitaciones durante julio de 2022, específicamente de 2,60 y 4,00 mm en La Ola, y 1,80 mm en Los Arroyos. Además, según el registro de la altura de nieve en las estaciones, se logra evidenciar eventos de caída de nieve entre los meses de julio y agosto de 2022, coincidiendo con las lluvias registradas. Por otro lado, en la estación Centro Salar se registran precipitaciones anómalas entre junio y octubre 2022 (hasta 371,20 mm), lo que podría indicar errores en las mediciones del sensor.

Respecto a la temperatura media diaria y la radiación, ambas responden a variaciones estacionales siguiendo una tendencia ascendente en el semestre reportado. En la estación La Ola la temperatura se encuentra entre -11,24°C y 13,76°C, con radiación máxima es de

430,72 W/m²; en la estación Los arroyos la temperatura se encuentra entre -15,79°C y 2,74°C, con una radiación máxima de 425,08 W/m²; y en la estación Centro Salar la temperatura esta entre -9,98°C y 12,13°C, con radiación máxima de 394,08 W/m².

Por otro lado, la humedad presenta una mayor variación diaria frente a los otros parámetros meteorológicos, también coincidente con variaciones estacionales. Durante el segundo semestre 2022, la estación La Ola varía entre un 12,11% y 80,82%, en la estación Los Arroyos varía entre un 16,44% y 86,11%, y en la estación Centro Salar los valores varían entre el 5,62% y 73,75%.

La presión barométrica no ha variado en las estaciones durante el periodo reportado, manteniéndose en torno a los 666 mbar en la estación La Ola, alrededor de 630 mbar en la estación Los Arroyos y en los 683 mbar en la estación Centro Salar.

Finalmente, respecto a los registros de los sensores de nivel en el piezómetro y en estanque que componen el lisímetro ubicado en la estación Centro Salar, se recomienda una inspección técnica de su correcto funcionamiento, verificando a través del llenado del estanque la correcta lectura y la medición contrastada con pozómetro en el piezómetro asociado.

7 Referencias

- Resolución de Calificación Ambiental (RCA) N° 19/2020. Proyecto Rajo Inca.
- Apéndice 1 del Anexo 1-2 Adenda Excepcional EIA Proyecto Rajo Inca. Plan de Seguimiento y Plan de Alerta Temprana Pedernales.
- Amphos 21. 2018. Informe Modelo conceptual hidrogeológico de la cuenca Salar de Pedernales. Estudio Impacto Ambiental (EIA) Proyecto Rajo Inca.

Anexos

Anexo A. Compromisos Ambientales

Anexo B. Certificaciones ETFA

Anexo C. Variables Climáticas