

CORPORACIÓN NACIONAL DEL COBRE DE CHILE

VICEPRESIDENCIA DE PROYECTOS

**CS-064 SERVICIO DE MONITOREO HÍDRICO Y
METEOROLÓGICO, PERIODO 2021-2023
PROYECTO RAJO INCA**

4600019896-06310-INFSU-00077

ESTACIONES METEOROLÓGICAS

**INFORME SEMESTRAL
SALAR DE PEDERNALES
DICIEMBRE 2023**



ESTADO DE REVISIÓN DE DOCUMENTO

REV N°	FECHA	EMITIDO PARA	POR	N° de Estado de Revisión	Observaciones	REVISADO POR	APROBADO POR	APROBADO POR
1	02-05-24	REVISION CODELCO	PE	1	Con observaciones	DM	CBG	PZ
0	05-04-24	REVISION CODELCO	PE	2	En observaciones	DM	CBG	PZ
B	05-03-24	REVISION CODELCO	PE	3	El documento requiere mayor desarrollo	DM	CBG	PZ
				4	No revisado por CodeLco			
					Las observaciones indicadas son un aporte a			
					responsabilidad de la calidad del diseño encomendado.			
						AGQ CHILES.A.		CODELCO



4600019896-06310-INFSU-00077

Pág. 1 de 34

Rev.1

Monitoreo hídrico y meteorológico 2021-2023

Estaciones meteorológicas
Salar de Pedernales

Segundo Semestre 2023

Mayo 2024

1001_AGQ_Meteo_Diciembre2023_SPED_rev1



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	21
4.6 Radiación solar	22
4.7 Nivel de agua en estanque y piezómetro	24
5 Discusión de resultados	26
5.1 Precipitación y altura de nieve	26
5.2 Dirección y velocidad del viento	26
5.3 Temperatura ambiental	27
5.4 Humedad relativa.....	27
5.5 Presión atmosférica	28
5.6 Radiación solar	28

5.7	Nivel de agua en el estanque y en el piezómetro	28
5.8	Evaporación.....	29
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 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 (Centro Salar).	16
Figura 4-6: Velocidad media diaria en estación La Ola.	17
Figura 4-7: Velocidad media diaria en estación Los Arroyos.	17
Figura 4-8: Velocidad media diaria en estación Centro Salar.	18
Figura 4-9: Temperatura ambiental media diaria en estación La Ola.	18
Figura 4-10: Temperatura ambiental media diaria en estación Los Arroyos.	19
Figura 4-11: Temperatura ambiental media diaria en estación Centro Salar.	19
Figura 4-12: Humedad relativa media diaria en estación La Ola.	20
Figura 4-13: Humedad relativa media diaria en estación Los Arroyos.	20
Figura 4-14: Humedad relativa media diaria en estación Centro Salar.	21
Figura 4-15: Presión atmosférica media diaria en estación La Ola.	21
Figura 4-16: Presión atmosférica media diaria en estación Los Arroyos.	22
Figura 4-17: Presión atmosférica media diaria en estación Centro Salar.	22
Figura 4-18: Radiación solar media diaria en estación La Ola.	23
Figura 4-19: Radiación solar media diaria en estación Los Arroyos.	23
Figura 4-20: Radiación solar media diaria en estación Centro Salar.	24
Figura 4-21: Nivel de agua medio diario medido en el estanque y en el piezómetro en la estación Centro Salar.	25

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 de 2023, que conforman el segundo semestre 2023. Cabe señalar que la estación Los Arroyos no presenta información meteorológica durante el semestre a reportar. Así mismo ocurre con la estación meteorológica La Ola, cuyo periodo sin información es desde septiembre hasta diciembre 2023.

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

En el periodo evaluado, la estación Centro Salar registra eventos de precipitación durante los meses de julio, septiembre, octubre y noviembre. Cabe destacar que los eventos registrados en julio y septiembre podrían corresponder a errores de medición en el sensor de precipitación de la estación Centro Salar, debido a que no guardan relación con los registros de la estación La Ola y, además, los registros de octubre y noviembre no son posibles de contrastar con otra estación. Por otro lado, según el registro de la altura de nieve en la estación La Ola, se logra evidenciar eventos de caída de nieve entre los meses de julio y agosto de 2023, y la estación Centro Salar registra un evento de caída de nieve en diciembre.

Durante el segundo semestre 2023, en la estación La Ola predominan los vientos en las direcciones SE a ESE, y en la estación Centro Salar los vientos se manifiestan en las direcciones SE a ESE (julio) y W a NW (agosto a diciembre 2023). Además, los vientos de mayor velocidad se manifiestan según la dirección W a NW en ambas estaciones.

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 -4,40°C y 11,81°C y radiación máxima de 439,90 W/m² en la estación Centro Salar; y temperaturas entre -3,56°C y 7,32°C y radiación máxima de 313,80 W/m² en la estación La Ola.

Por otro lado, la humedad presenta una mayor variación diaria frente a los otros parámetros meteorológicos. Durante el semestre reportado varía entre un 5,15% y 43,88% en la estación Centro Salar, y entre 8,95% y 43,65% en la estación La Ola.

Además, la presión barométrica se ha mantenido constante durante el periodo reportado, con valores de promedio diario en torno a los 667 mbar en la estación La Ola, y alrededor de 684 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 2023. 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” (ETFAs) 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 altitud 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 de Pedernales.

Nombre de estación	Este WGS84 (m)	Norte WGS84 (m)	Altitud (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

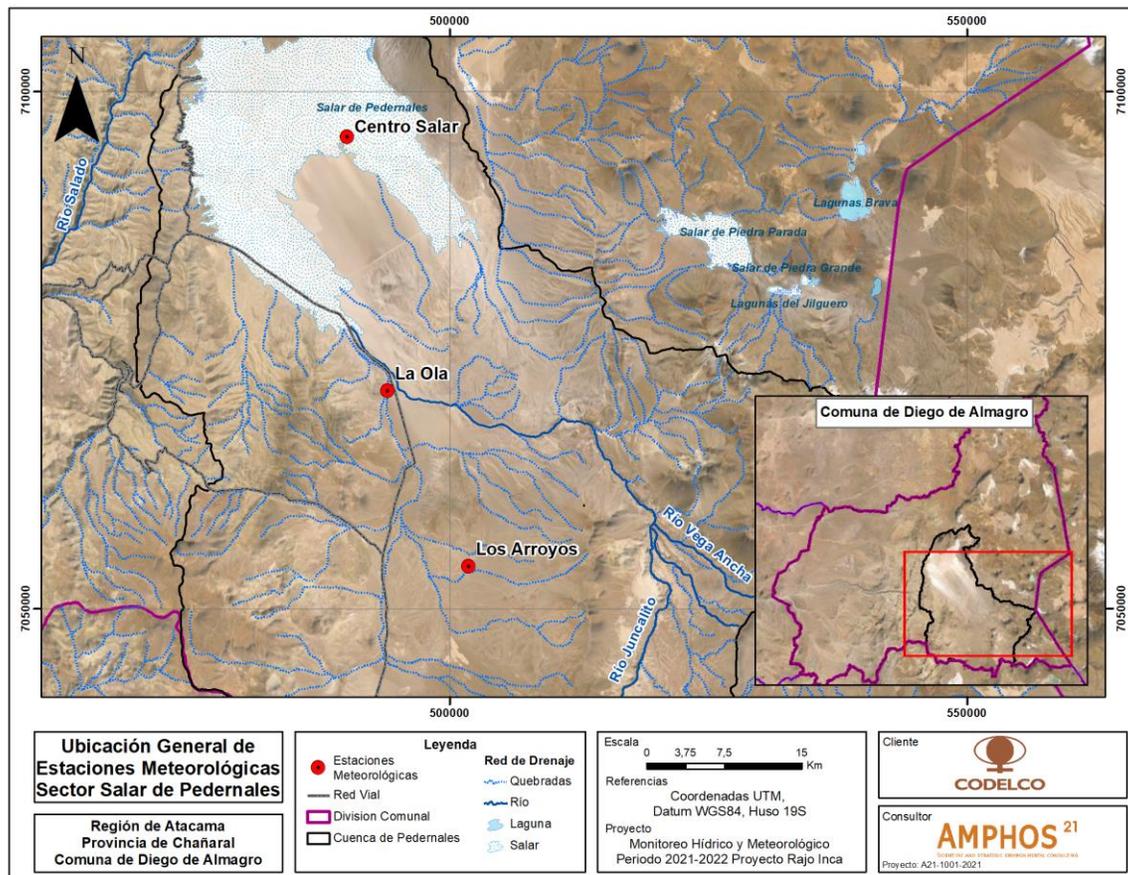


Figura 2-1. Plano general de ubicación de las estaciones meteorológicas en el sector Salar de Pedernales.

3 Metodología

3.1 Descarga de datos

Los datos son descargados trimestralmente, realizándose dos descargas durante el semestre (tercer y cuarto trimestre de 2023). 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 mencionar que la estación Los Arroyos carece de información meteorológica desde el 4 de mayo 2023 hasta el actual reporte, ya que no se encuentra disponible remotamente para su descarga. Lo mismo ocurre con la estación La Ola, cuya información no se encuentra disponible desde el 5 de septiembre 2023.

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 2023.

En el Anexo C adjunto se entregan las mediciones desde diciembre de 2020 a diciembre de 2023.

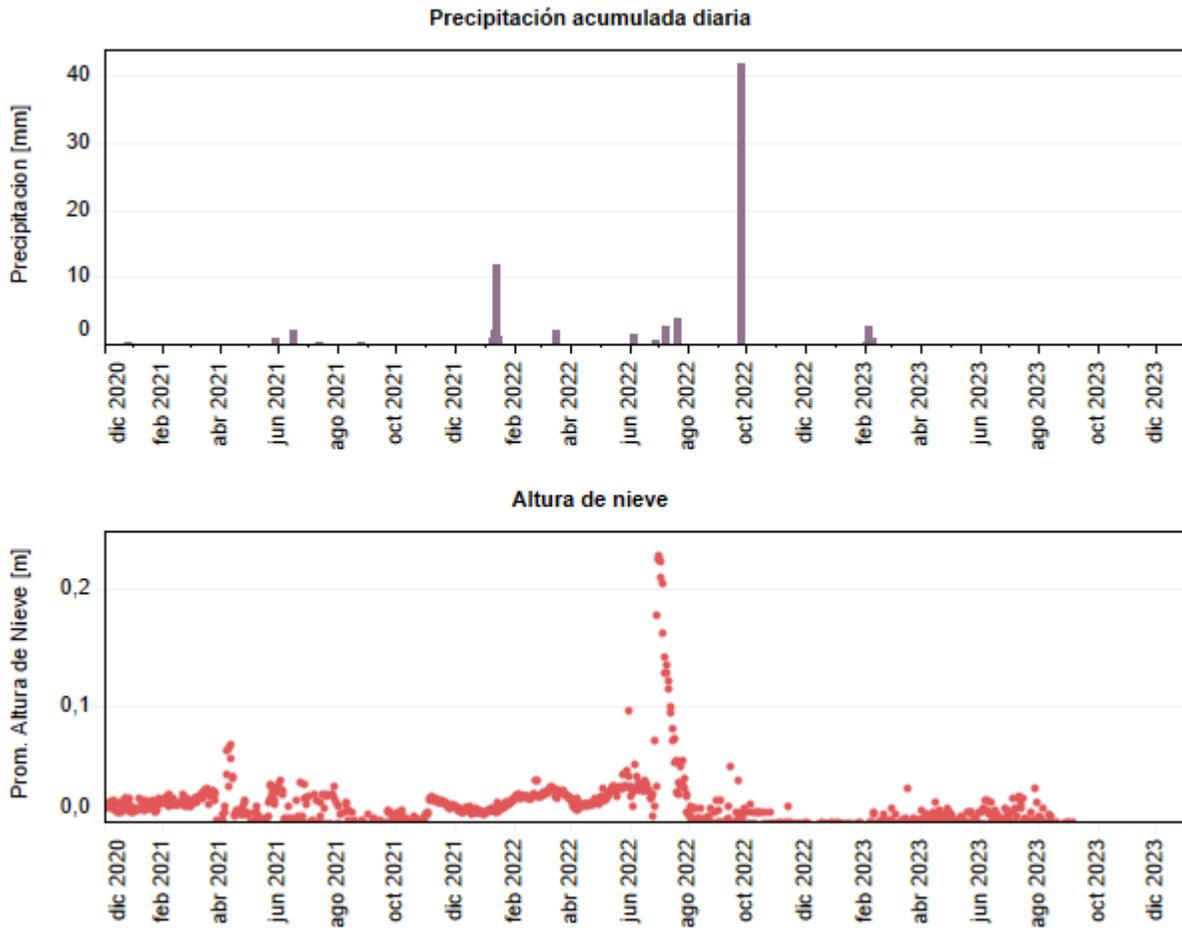


Figura 4-1: Precipitación y altura de nieve diaria en estación La Ola.

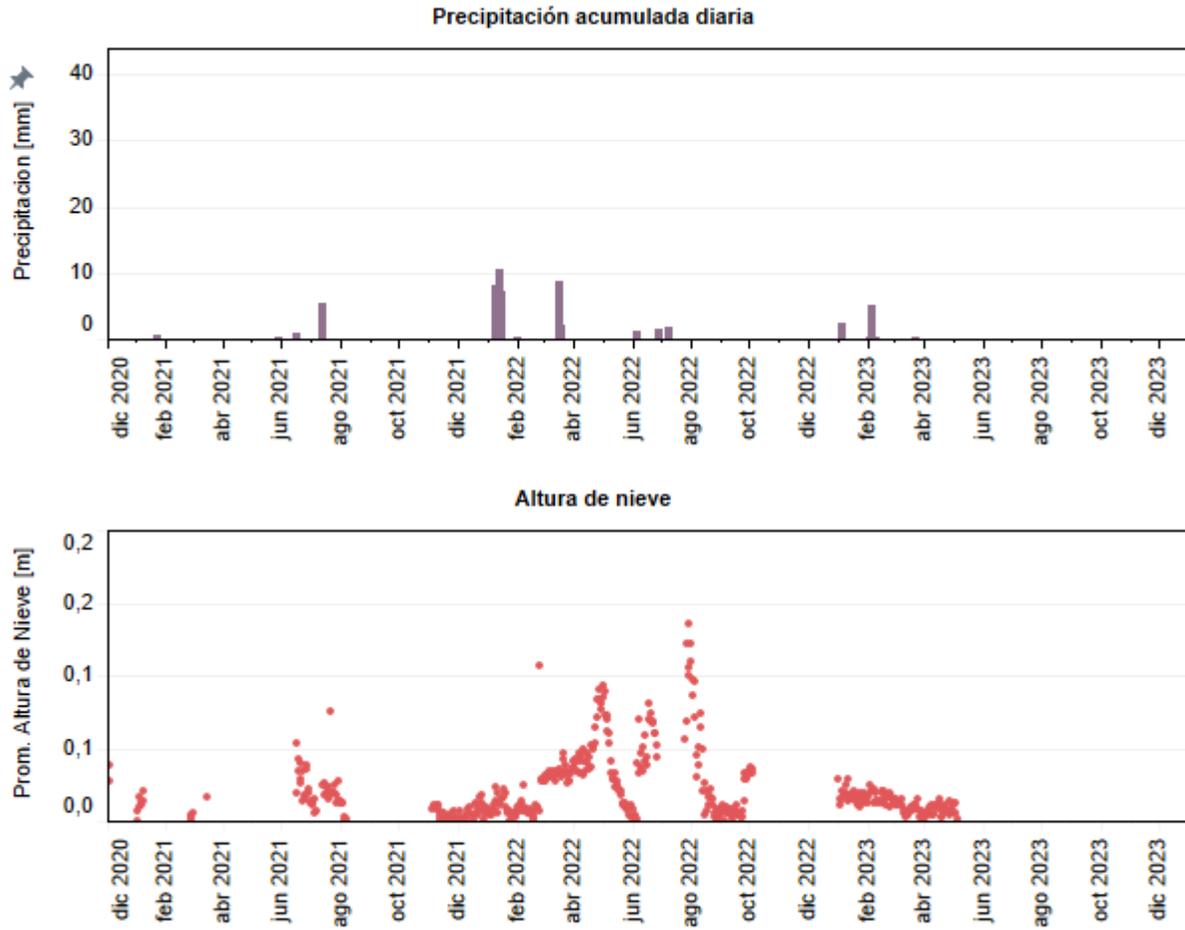


Figura 4-2: Precipitación y altura de nieve diaria en estación Los Arroyos.

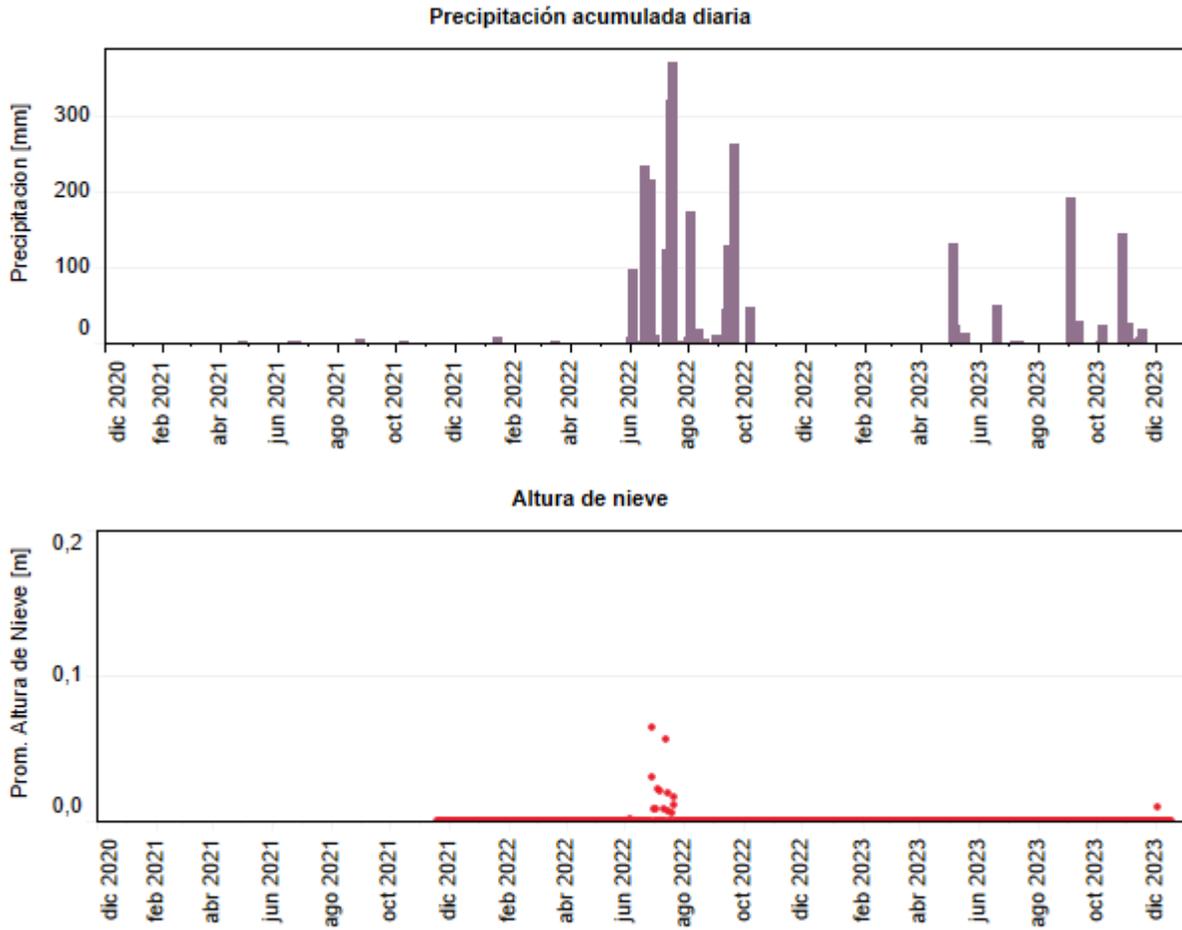
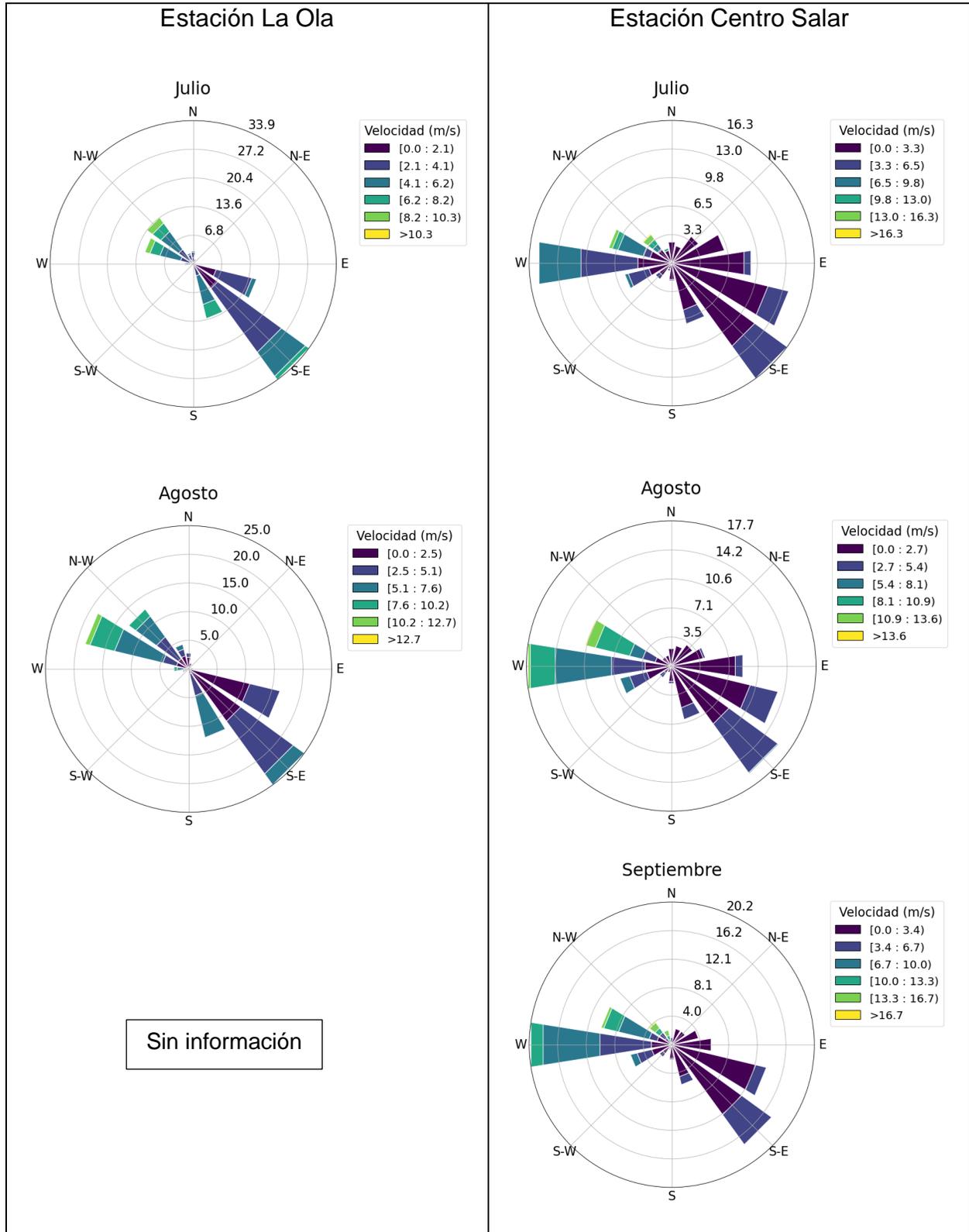


Figura 4-3: Precipitación y altura de nieve diaria en estación Centro Salar.

4.2 Dirección y velocidad de viento

En la Figura 4-4 y Figura 4-5 se representan las direcciones y velocidades del viento, para las estaciones La Ola 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 la estación Los Arroyos no presenta información meteorológica durante el segundo semestre 2023. Así mismo ocurre con la estación meteorológica La Ola, cuyo periodo sin información es desde septiembre hasta diciembre 2023.



Sin información

Sin información

Sin información

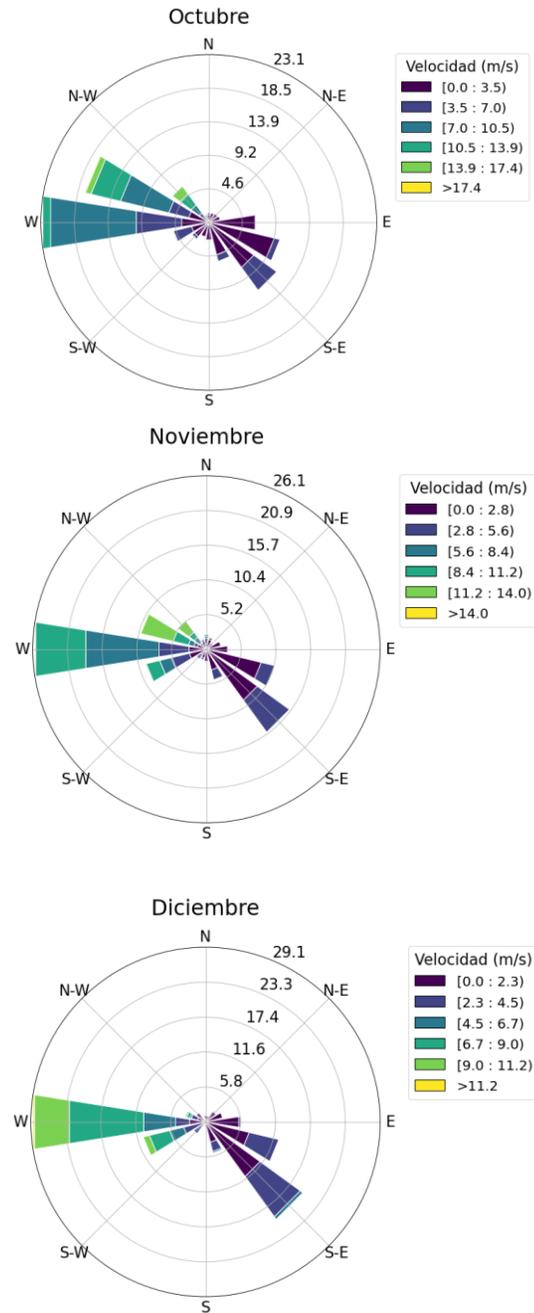


Figura 4-4: Rosa de velocidad direccional expresada en porcentaje de ocurrencia (La Ola).

Figura 4-5: Rosa de velocidad direccional expresada en porcentaje de ocurrencia (Centro Salar).

Por otra parte, la Figura 4-6, Figura 4-7 y Figura 4-8 presentan las velocidades medias diarias registradas en las estaciones La Ola, Los Arroyos y Centro Salar respectivamente, desde diciembre de 2020 hasta diciembre de 2023.

Además, en el Anexo C adjunto se entregan las mediciones desde diciembre de 2020 a diciembre de 2023.

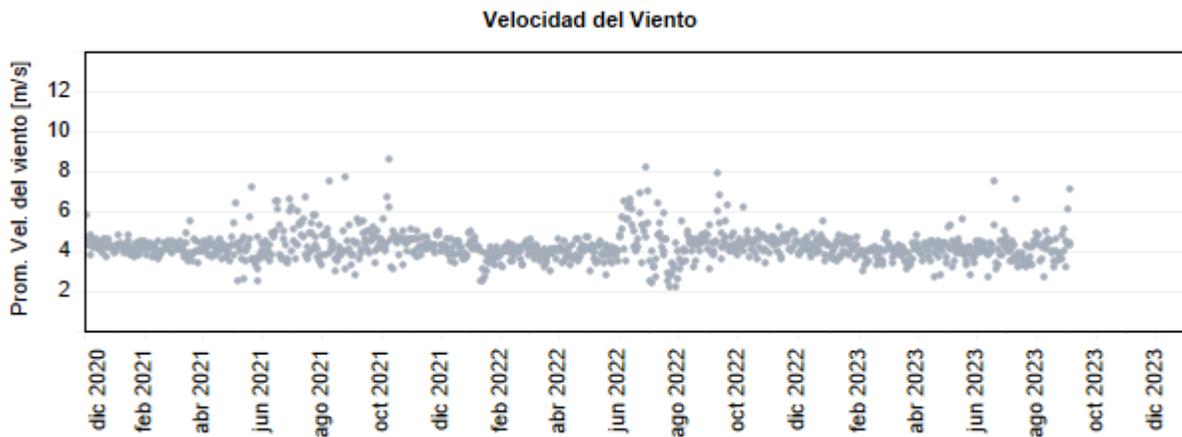


Figura 4-6: Velocidad media diaria en estación La Ola.

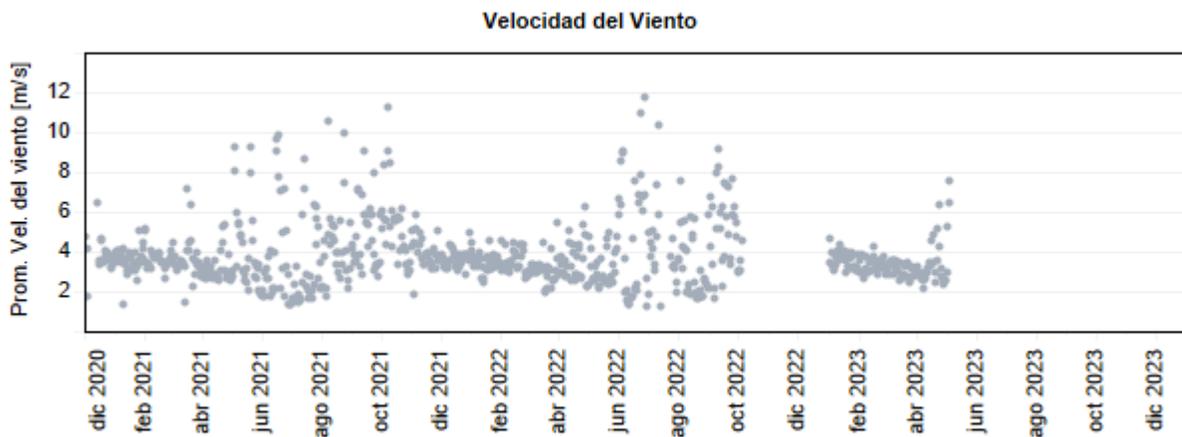


Figura 4-7: Velocidad media diaria en estación Los Arroyos.

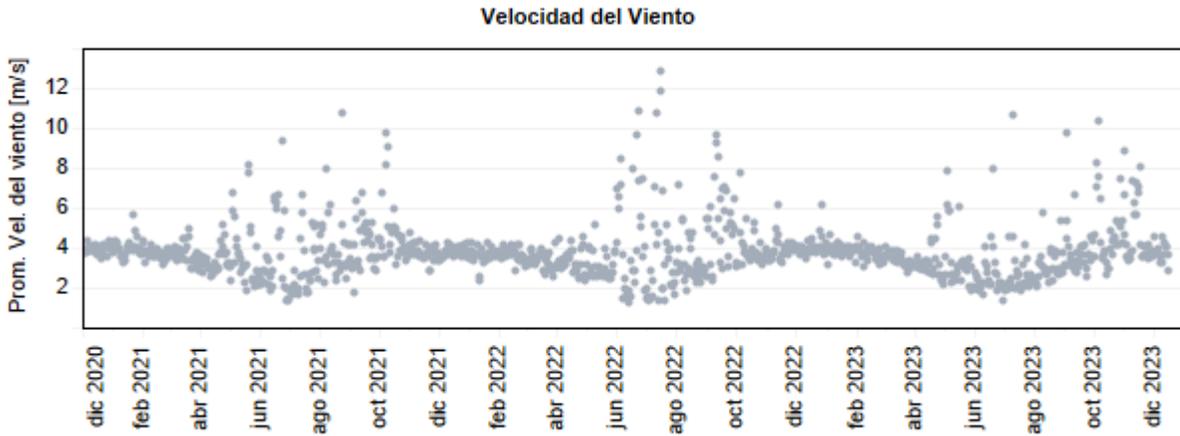


Figura 4-8: Velocidad media diaria en estación Centro Salar.

4.3 Temperatura ambiente

En la Figura 4-9, Figura 4-10 y Figura 4-11 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 2023.

En el Anexo C adjunto se entregan las mediciones desde diciembre de 2020 a diciembre de 2023.

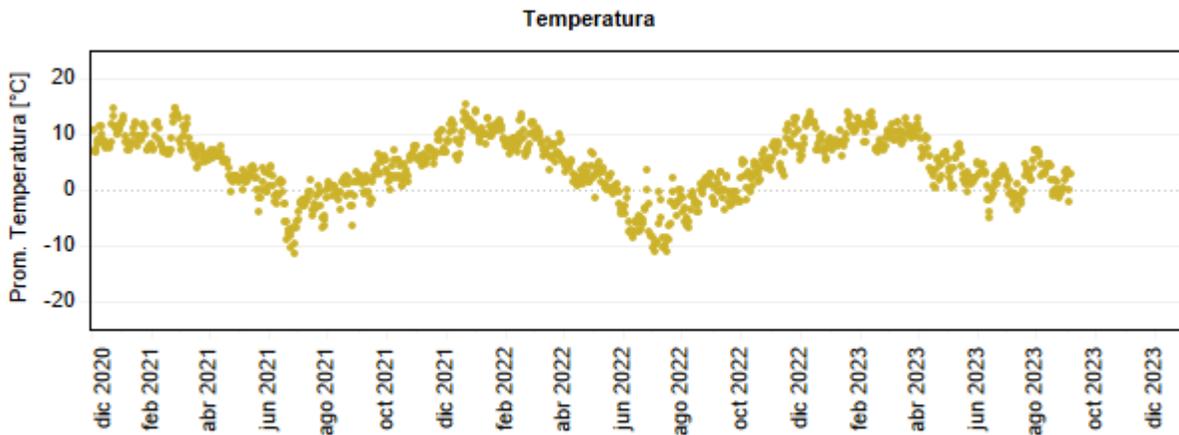


Figura 4-9: Temperatura ambiental media diaria en estación La Ola.

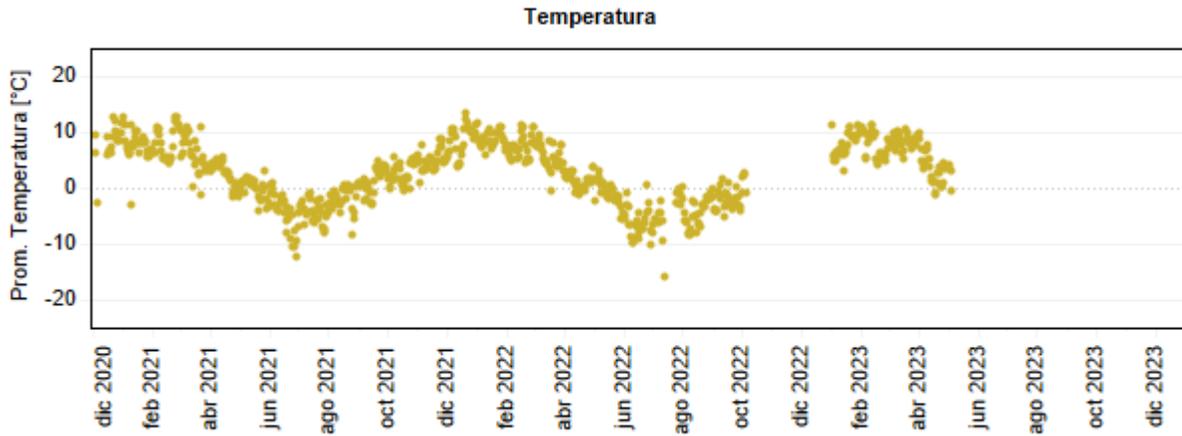


Figura 4-10: Temperatura ambiental media diaria en estación Los Arroyos.

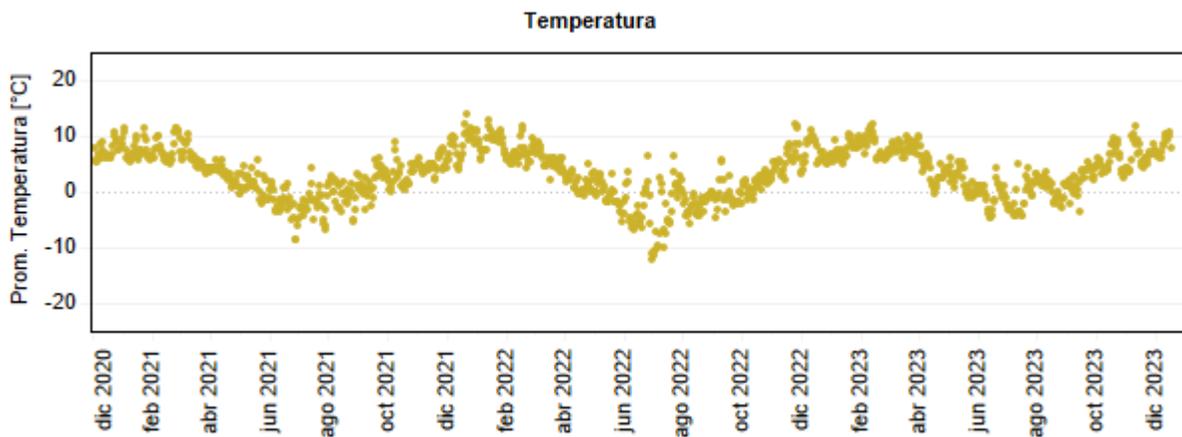


Figura 4-11: Temperatura ambiental media diaria en estación Centro Salar.

4.4 Humedad relativa

En la Figura 4-12, Figura 4-13 y Figura 4-14 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 2023.

En el Anexo C adjunto se entregan las mediciones desde diciembre de 2020 a diciembre de 2023.

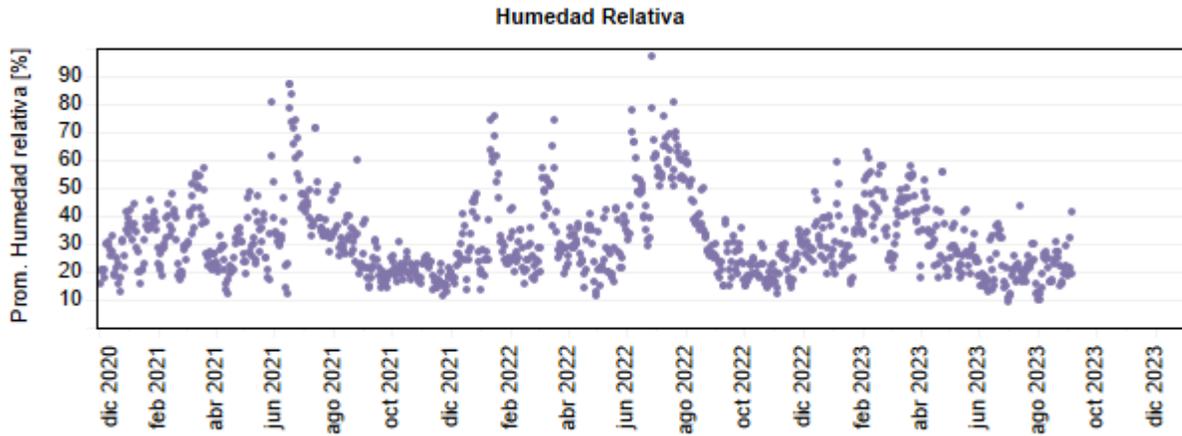


Figura 4-12: Humedad relativa media diaria en estación La Ola.

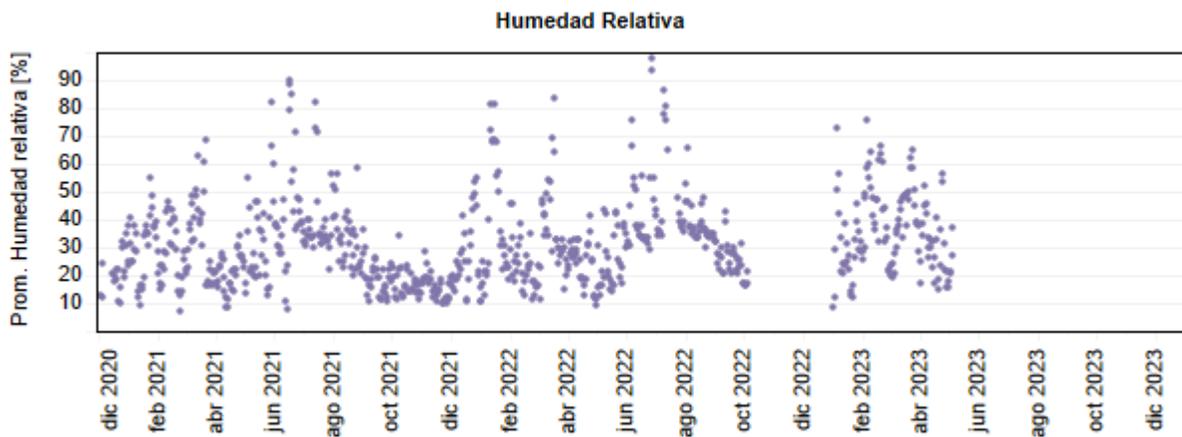


Figura 4-13: Humedad relativa media diaria en estación Los Arroyos.

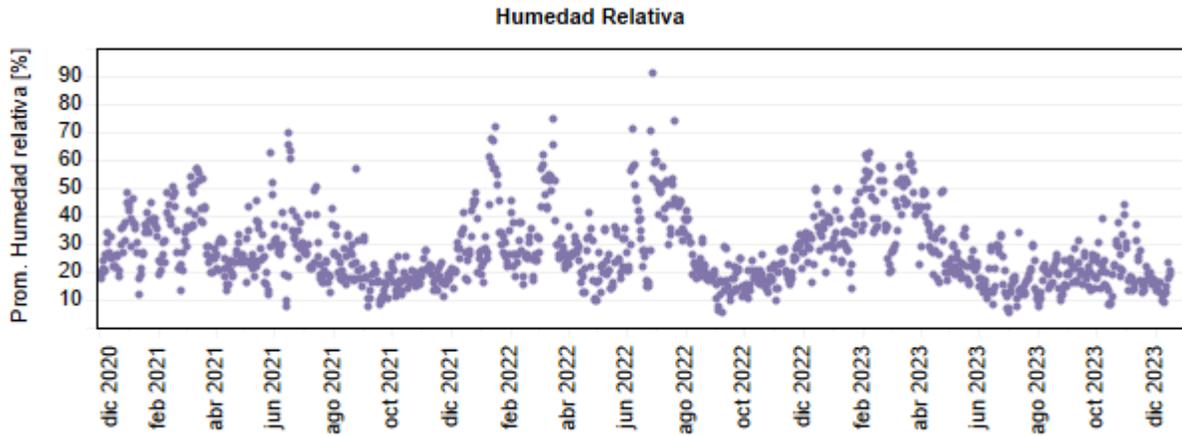


Figura 4-14: Humedad relativa media diaria en estación Centro Salar.

4.5 Presión atmosférica

En la Figura 4-15, Figura 4-16 y Figura 4-17 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 2023.

En el Anexo C adjunto se entregan las mediciones desde diciembre 2020 a diciembre 2023.

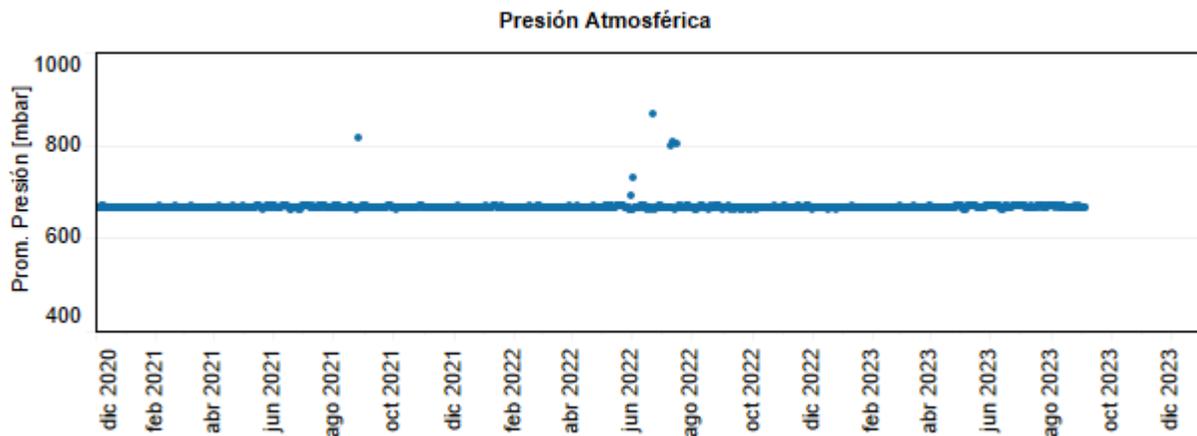


Figura 4-15: Presión atmosférica media diaria en estación La Ola.

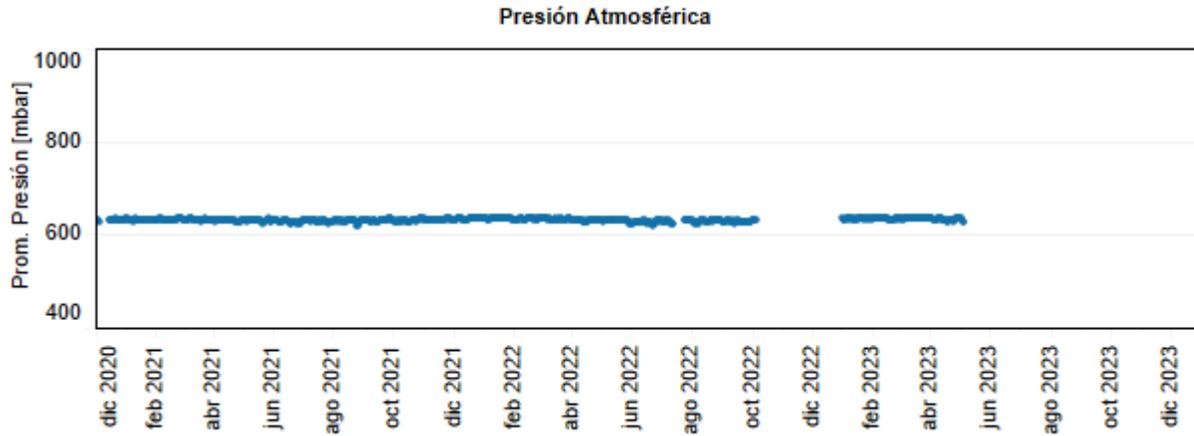


Figura 4-16: Presión atmosférica media diaria en estación Los Arroyos.

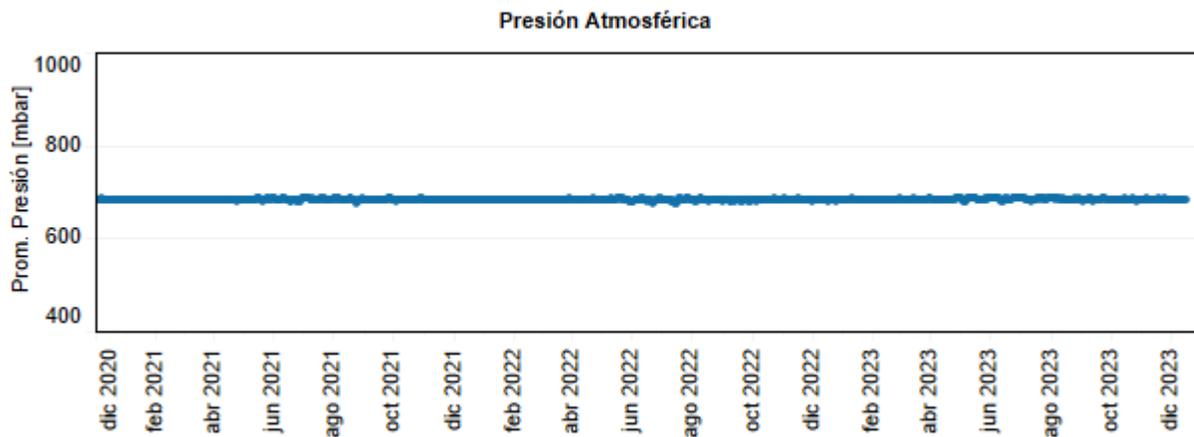


Figura 4-17: Presión atmosférica media diaria en estación Centro Salar.

4.6 Radiación solar

En la Figura 4-18, Figura 4-19 y Figura 4-20 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 2023.

En el Anexo C adjunto se entregan las mediciones desde diciembre de 2020 a diciembre de 2023.

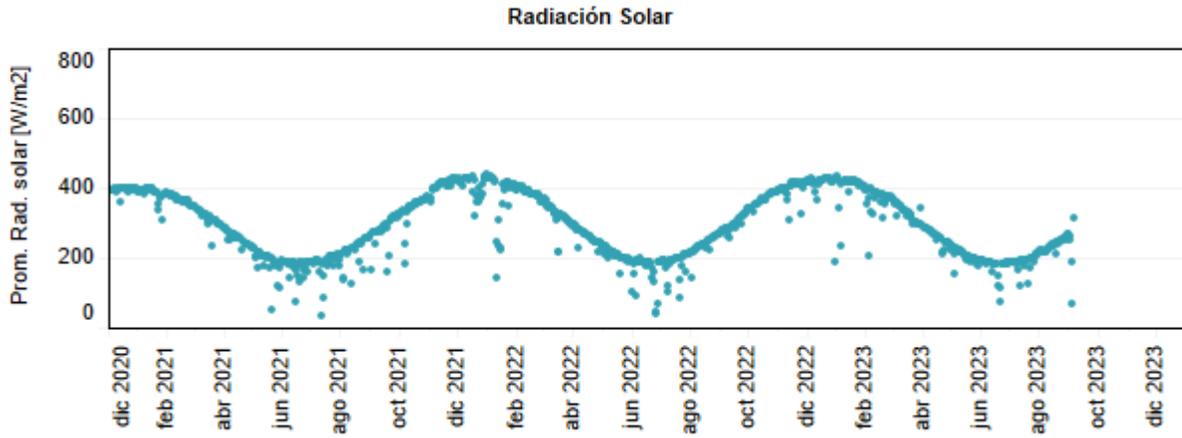


Figura 4-18: Radiación solar media diaria en estación La Ola.

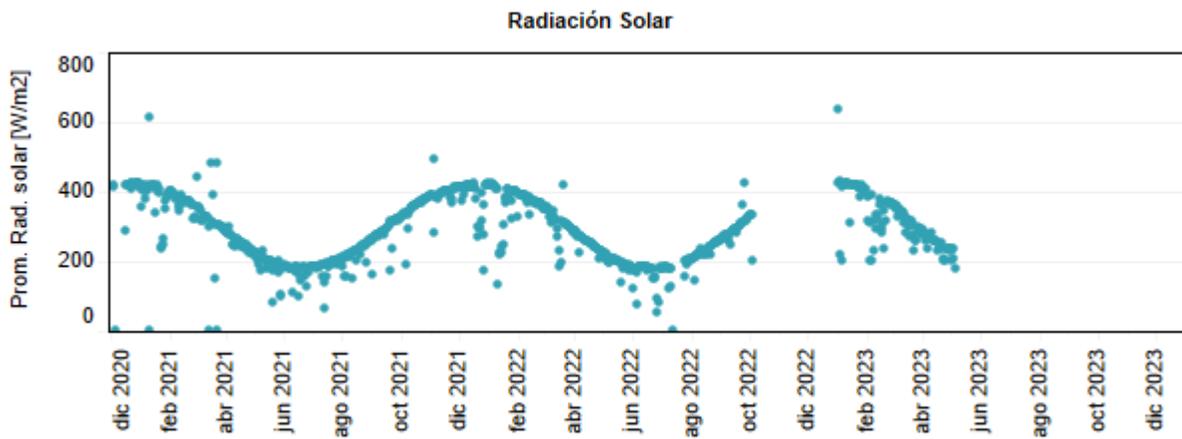


Figura 4-19: Radiación solar media diaria en estación Los Arroyos.

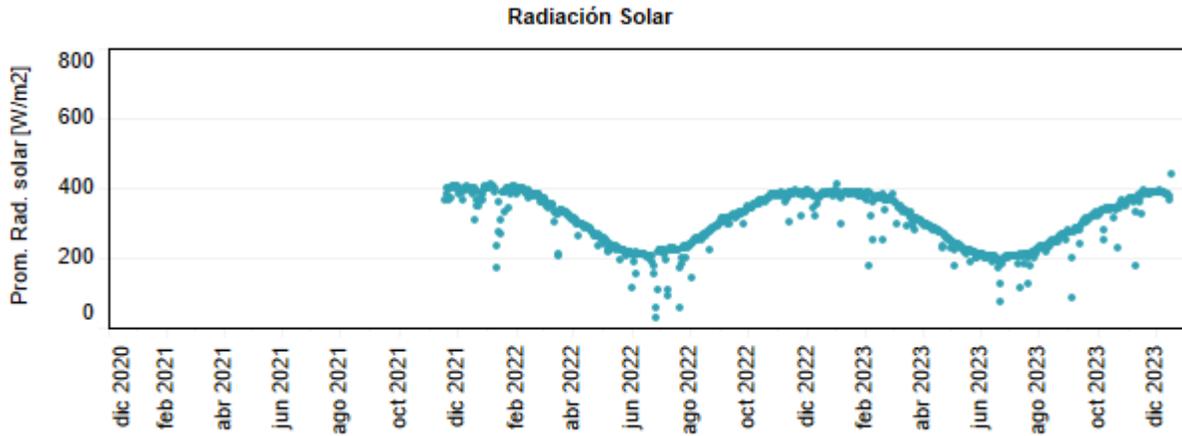


Figura 4-20: Radiación solar media diaria en estación Centro Salar.

4.7 Nivel de agua en estanque y piezómetro

En la Figura 4-21 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 2023.

En el Anexo C adjunto se entregan las mediciones desde diciembre de 2020 hasta diciembre 2023.

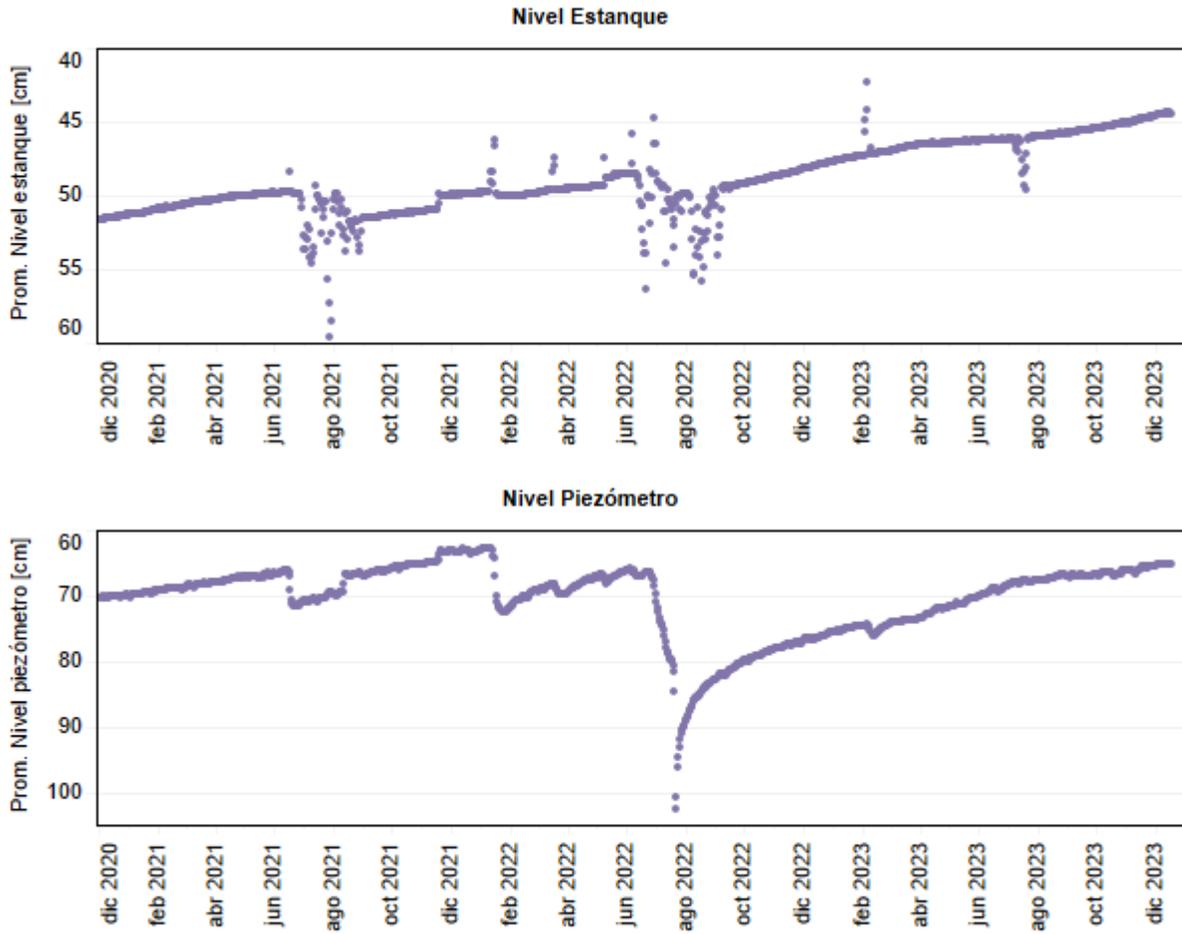


Figura 4-21: Nivel de agua medio diario medido en el estanque y en el piezómetro en la estación Centro Salar.

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 2023, son discutidas en los siguientes puntos. Cabe señalar que, durante el semestre a reportar, únicamente se cuenta con la totalidad del registro en la estación Centro Salar, dado que la estación Los Arroyos no dispone de información en línea para su descarga desde mayo de 2023 y, por otra parte, la estación La Ola no dispone de información desde septiembre de 2023.

5.1 Precipitación y altura de nieve

Durante el tercer trimestre de 2023 (julio a septiembre 2023) la estación La Ola no registra eventos de precipitación líquida, mientras que la estación Centro Salar registra precipitaciones en julio en un rango de 0,8 a 3,8 mm y, en septiembre, precipitaciones en un rango de 2,9 a 192,4 mm. Se infiere que dichas precipitaciones, que no fueron registradas en la estación La Ola, podrían ser un error de medición en el sensor de precipitación de la estación Centro Salar.

En cuanto al cuarto trimestre de 2023 (octubre a diciembre 2023), la estación Centro Salar registró eventos de precipitación en octubre en un rango de 3,3 a 145,1 mm, y en noviembre, precipitaciones de hasta 25,5 mm. Estos valores no es posible contrastarlos, dado que no se dispone de registros en las otras dos estaciones durante el cuatro trimestre de 2023.

Con respecto al promedio diario de la altura de nieve, durante el segundo semestre de 2023 se observan registros en la estación La Ola entre julio y agosto. Por otro lado, la estación Centro Salar registra un evento de caída de nieve en diciembre 2023.

Cabe destacar que la estación Centro Salar no registra mediciones de nieve entre noviembre de 2021 y marzo de 2022, y desde agosto de 2022 hasta noviembre de 2023. Los datos brutos descargados del sensor indicarían mediciones puntuales o *peaks* superiores a 2 metros de altura que corresponderían a ruido propio del instrumento (por el viento u otros factores al tratarse de un sensor de ultrasonido).

5.2 Dirección y velocidad del viento

Con respecto a la velocidad y dirección del viento, registradas en el segundo semestre del 2023, se observan diferencias entre la estación La Ola y Centro Salar.

Por un lado, la estación La Ola registra vientos de mayor velocidad menos frecuentes (hasta 12,7 m/s en agosto) con direcciones WNW a NW, y vientos de menor velocidad más frecuentes

(inferior a 8,2 m/s) en dirección SE a ESE. Posteriormente, a partir de septiembre no ha sido posible la descarga de información.

En la estación Centro Salar durante julio se identifican vientos de menor velocidad y mayor frecuencia en dirección SE a ESE (hasta 6,5 m/s), y vientos de mayor velocidad (hasta 16,3 m/s) menos frecuentes en dirección W a NW. Por el contrario, desde agosto a diciembre 2023, la dirección W a NW aumenta su frecuencia y velocidad, alcanzando 14 m/s en noviembre, mientras que la dirección SE-ESE va perdiendo recurrencia.

Considerando la evolución de los vientos medios diarios, se observa que las dos estaciones presentan dispersión en los valores de velocidad del viento durante el segundo semestre de 2023, siguiendo una leve tendencia ascendente hasta diciembre 2023. La estación Centro Salar presenta velocidades medias entre 1,34 m/s y 12,86 m/s, mientras que en la estación La Ola entre 1,82 m/s y 10,60 m/s. Cabe mencionar que no se dispone de información desde septiembre 2023 en la estación La Ola.

5.3 Temperatura ambiental

La temperatura ambiental media diaria en las estaciones La Ola y Centro Salar son muy similares durante el tercer trimestre de 2023 y ligeramente superior en la estación La Ola. En general, en ambas estaciones, se evidencia una tendencia ascendente durante el semestre a reportar.

La máxima temperatura media diaria registrada durante el segundo semestre 2023 en la estación Centro Salar corresponde a 11,81°C y se alcanza en noviembre de 2023. En cuanto a la estación La Ola, y dado que no se dispone de información desde septiembre a diciembre 2023, la temperatura media diaria máxima registrada se alcanza en julio de 2023, con un valor de 7,32°C.

Por otro lado, la temperatura media diaria mínima durante el segundo semestre de 2023 es de -4,40°C en la estación Centro Salar, y de -3,56°C en la estación La Ola, ambas alcanzadas durante julio 2023.

5.4 Humedad relativa

La humedad relativa presenta una mayor variación diaria frente a las otras variables meteorológicas. De igual forma, las estaciones La Ola y Centro Salar presentan un patrón similar en los datos medidos, con una tendencia al ascenso durante el segundo semestre 2023.

En general, durante el segundo semestre 2023, la humedad relativa media diaria en la estación La Ola varía entre un 8,95% y 43,65%, y en la estación Centro Salar los valores varían entre el 5,15% y 43,88%.

5.5 Presión atmosférica

La presión atmosférica, en general, no presenta variaciones dentro del semestre a reportar, manteniéndose el promedio diario en torno a los 667 mbar en la estación La Ola, y en los 684 mbar en la estación Centro Salar.

5.6 Radiación solar

Durante el segundo semestre 2023, la radiación solar presenta una clara tendencia ascendente, debido principalmente a la variación estacional de esta variable.

La radiación solar alcanza un valor mínimo diario de 70,9 W/m² en la estación La Ola, y de 87,9 W/m² en la estación Centro Salar, ambos casos alcanzados en septiembre de 2023. En cuanto al valor máximo diario de radiación solar, las estaciones La Ola y Centro Salar alcanzan un valor de 313,8 W/m² y 439,9 W/m² durante septiembre (dado que no se dispone de más información) y diciembre respectivamente.

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 estabilizaron 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 48,5 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 (9,9 cm), marzo (1,5 cm), mayo (1,4 cm) y junio (1,2 cm) de 2022.

Entre junio y septiembre 2022, y en julio 2023 se observa nuevamente dispersión en los registros del nivel del estanque, posiblemente debido a las condiciones climáticas como presencia de nieve o congelación. 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 constante. Por lo tanto, se recomienda la revisión de estos sensores.

Finalmente, durante el segundo semestre de 2023, el nivel de agua en el estanque presenta una clara tendencia ascendente con valores que fluctúan entre 46,07 cm y 44,35 cm, con registros puntuales que se alejan de la tendencia durante julio de 2023 (alcanzando valores de 49,55 cm). Por otro lado, el nivel de agua medido en el piezómetro, en general, presenta una tendencia ascendente con valores que fluctúan entre 68,34 cm y 65,02 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, 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.

5.8 Evaporación

Debido a las anomalías e 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.

Presumiblemente, y dado el rápido comportamiento de los niveles registrados en el estanque al momento de las precipitaciones en enero y marzo 2023, 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 2023. Cabe señalar que la estación Los Arroyos no presenta información meteorológica durante el segundo semestre 2023. Así mismo ocurre con la estación meteorológica La Ola, cuyo periodo sin información es desde septiembre hasta diciembre 2023.

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.

En general, se observa que los comportamientos de las variables meteorológicas en las estaciones La Ola y Centro Salar son similares en el transcurso del tiempo. Esto ocurre principalmente en las variables de precipitación, temperatura, humedad relativa, presión y radiación solar.

Las principales diferencias se observan en los registros de la dirección del viento, donde en la estación La Ola predominan los vientos en las direcciones SE a ESE, y en la estación Centro Salar los vientos se manifiestan en las direcciones SE a ESE (julio) y W a NW (agosto a diciembre 2023). Además, durante el segundo semestre 2023 los vientos de mayor velocidad se manifiestan según la dirección W a NW en ambas estaciones.

Durante el segundo semestre 2023, la estación La Ola no registra precipitaciones, mientras que la estación Centro Salar registra precipitaciones en julio, septiembre, octubre y noviembre. Cabe destacar que los valores registrados entre julio y septiembre podrían corresponder a un error de medición en el sensor de precipitación de la estación Centro Salar, dado que no guardan relación con los registros de la estación La Ola y, además, los registros de octubre y noviembre no son posibles de contrastar con otra estación. Por otro lado, según el registro de la altura de nieve en la estación La Ola, se logra evidenciar eventos de caída de nieve entre los meses de julio y agosto de 2023, y la estación Centro Salar, registra un evento de caída de nieve en diciembre.

Con respecto a la radiación solar, esta responde a las variaciones estacionales alcanzando los menores valores al inicio del tercer trimestre de 2023, no obstante, registra una medición puntual en septiembre 2023 que está por debajo de la tendencia. Por otro lado, la temperatura media diaria también ha presentado una tendencia ascendente durante el semestre evaluado, producto de las variaciones estacionales.

Por su parte, la humedad relativa presenta una mayor variación diaria frente a los otros parámetros meteorológicos. Durante el segundo semestre de 2023, la estación La Ola varía entre un 8,95% y 43,65%, y en la estación Centro Salar los valores varían entre el 5,15% y 43,88%.

La presión barométrica no ha variado en las estaciones durante el periodo reportado, manteniéndose el promedio diario en torno a los 667 mbar en la estación La Ola, y en los 684 mbar en la estación Centro Salar.

Finalmente, respecto a los registros de los sensores de nivel en el piezómetro y en el 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