

Para: Edwin Guzmán
De: Camila Zúñiga
Fecha: 23 de abril de 2026

Contenido

Introducción.....	3
Validación de parámetros meteorológicos	3
Precipitación	3
Humedad relativa	4
Presión atmosférica	4
Temperatura del aire	5
Radiación global	5
Evaporación.....	5
Velocidad del viento y dirección del viento	7
Relleno de parámetros meteorológicos	10
Evaporación.....	11
Dirección del viento	12
Humedad relativa	13
Presión atmosférica	14
Radiación global	15
Temperatura del aire	16
Velocidad del viento.....	17
Conclusiones	18
Referencias	18
 Figura 1. Precipitación diaria para el mes de marzo.....	4
Figura 2. Humedad relativa promedio diaria para el mes de marzo.	4
Figura 3. Presión atmosférica promedio diaria para el mes de marzo.	4
Figura 4. Temperatura del aire promedio diaria para el mes de marzo.	5
Figura 5. Radiación global promedio diaria para el mes de marzo.	5
Figura 6. Evaporación diaria para el mes de marzo.	6
Figura 7: Preprocesamiento a registros de nivel de columna de agua del pan de evaporación.....	6
Figura 8. Comportamiento eólico estaciones meteorológicas sector Alta Montaña para el mes de marzo.	7
Figura 9: Comportamiento eólico estaciones meteorológicas Sistema Borde Este para el mes de marzo	7

Figura 10: Comportamiento eólico estaciones meteorológicas sector Cuenca Salar de Atacama para el mes de marzo.....	8
Figura 11: Comportamiento eólico estaciones meteorológicas Sistema Aguas de Quelana para el mes de marzo.....	8
Figura 12: Comportamiento eólico estaciones meteorológicas Sistema Soncor para el mes de marzo ..	9
Figura 13: Comportamiento eólico estaciones meteorológicas sector Núcleo para el mes de marzo.	9
Figura 15: Comportamiento eólico estaciones meteorológicas Sistema Peine y Tilopozo para el mes de marzo.....	9
Figura 16. Matriz de correlación para la evaporación.	11
Figura 17. Matriz de correlación para la dirección del viento.	12
Figura 18: Matriz de correlación para la humedad relativa.	13
Figura 19: Matriz de correlación para la presión atmosférica.	14
Figura 20: Matriz de correlación para la radiación global.	15
Figura 21: Matriz de correlación para la temperatura del aire.....	16
Figura 22: Matriz de correlación para la velocidad del viento.	17
Tabla 1. Parámetros registrados por las estaciones meteorológicas.....	3
Tabla 2: Parámetros rellenos para el mes de marzo.	10
Tabla 3: Estaciones utilizadas para el relleno de evaporación.....	11
Tabla 4: Estaciones utilizadas para el relleno de la dirección del viento.	12
Tabla 5: Estaciones utilizadas para el relleno de la humedad relativa.	13
Tabla 6: Estaciones utilizadas para el relleno de la presión atmosférica con sus respectivos coeficientes de correlación.	14
Tabla 7: Estaciones utilizadas para el relleno de la radiación global.....	15
Tabla 8: Estaciones utilizadas para el relleno de la temperatura del aire.	16
Tabla 9: Estaciones utilizadas para el relleno de la velocidad del viento.....	17

Introducción

En el presente reporte se detalla el proceso de validación del registro meteorológico (Tabla 1) para el mes de marzo de 2026 aplicado para la red de estaciones meteorológicas de Novandino en Salar de Atacama en el marco del Programa de Cumplimiento (PdC) y operación continua de Novandino. De acuerdo con el PdC, la meteorología validada mensual debe ser entregada a la autoridad el día 10 del mes siguiente.

Tabla 1. Parámetros registrados por las estaciones meteorológicas.

Estación	Precipitación	Humedad	Presión atmosférica	Radiación	Temperatura aire	Evaporación	Velocidad del viento	Dirección del viento
Cordillera de la Sal	◊	◊	◊	◊	◊	◊	◊	◊
Chaxa	◊	◊	◊	◊	◊	◊	◊	◊
KCL	◊	◊	◊	◊	◊	◊	◊	◊
SOP	◊	◊	◊	◊	◊	◊	◊	◊
Interna LZA9-1	◊	◊	◊	◊	◊	◊	◊	◊
Quelana LZA3-1	◊	◊	◊	◊	◊	◊	◊	◊
Domeyko	◊	◊	◊	◊	◊		◊	◊
Llano de la Paciencia	◊	◊	◊	◊	◊		◊	◊
Cerro Cosor	◊	◊	◊	◊	◊		◊	◊
El Tatio	◊	◊	◊	◊	◊		◊	◊
LZA3-2	◊	◊	◊	◊	◊		◊	◊
LAZA3-3	◊	◊	◊	◊	◊		◊	◊
LZA7-1	◊	◊	◊	◊	◊		◊	◊
LZA7-2	◊	◊	◊	◊	◊		◊	◊
LZA10-1	◊	◊	◊	◊	◊		◊	◊
LZA12-1	◊	◊	◊	◊	◊		◊	◊
LAZ12-2	◊	◊	◊	◊	◊		◊	◊
LZA12-3	◊	◊	◊	◊	◊		◊	◊

El relleno se llevó a cabo con la herramienta desarrollada en Python por la consultora Flow Hidro. A continuación, se detallan los hallazgos y validación de cada variable.

Validación de parámetros meteorológicos

Precipitación

La Figura 1 muestra la precipitación diaria acumulada. Los registros brutos mayores a cerro corresponden a pruebas de pluviometría y/o mediciones anómalas, los cuales fueron invalidados.

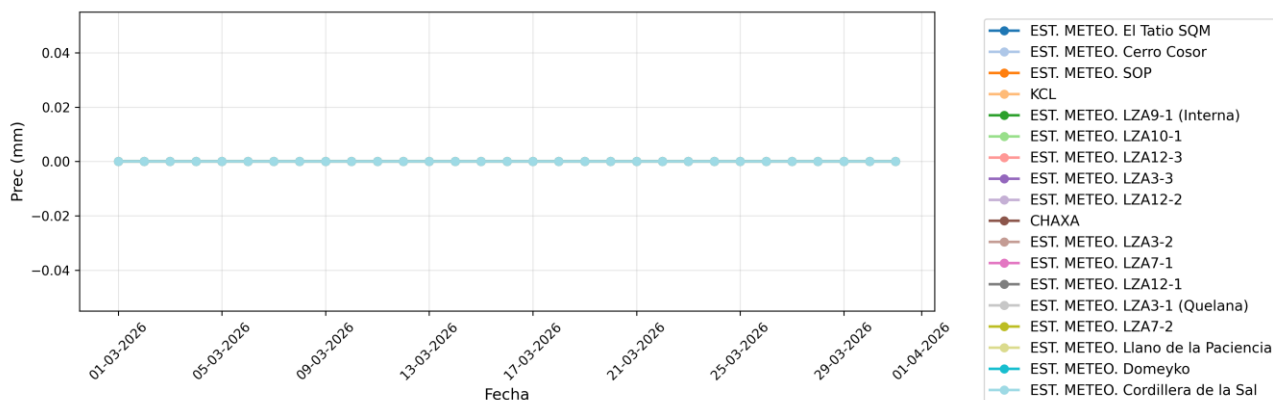


Figura 1. Precipitación diaria para el mes de marzo.

Humedad relativa

En la Figura 2 se presenta la humedad relativa promedio diaria durante el mes de marzo. Las estaciones de alta montaña destacan por

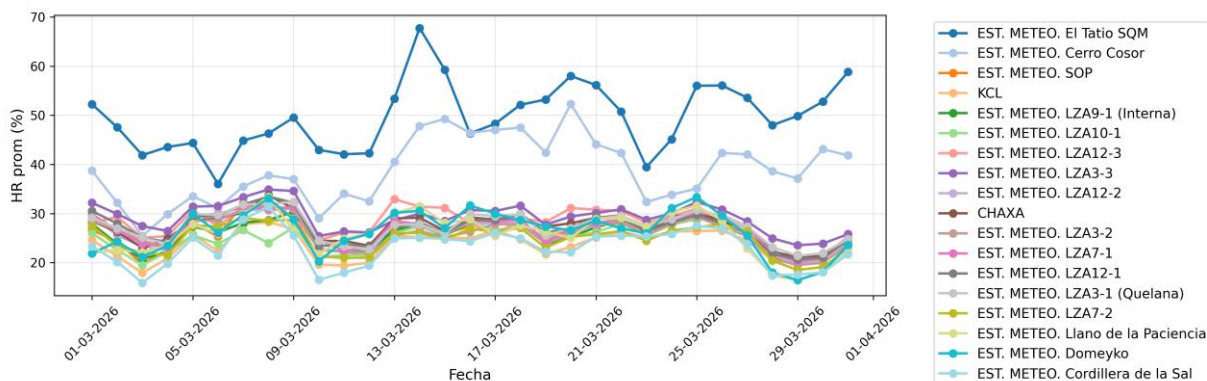


Figura 2. Humedad relativa promedio diaria para el mes de marzo.

Presión atmosférica

La presión atmosférica promedio para marzo se presenta en la Figura 3. Las estaciones Cerro Cosor y Tatio cuenta con los registros de menor magnitud, ya que ambas están ubicadas sobre los 4.000 m.s.n.m.

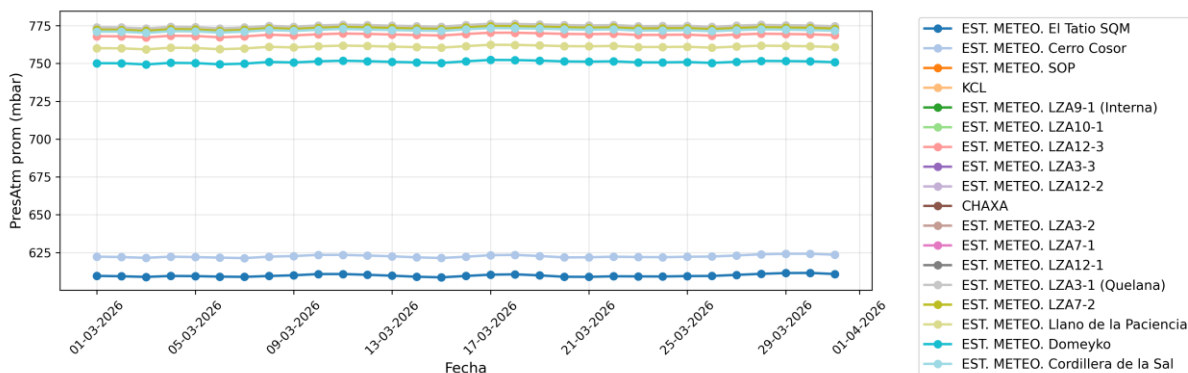


Figura 3. Presión atmosférica promedio diaria para el mes de marzo.

Temperatura del aire

La Figura 4 muestra las temperaturas promedio diarias del mes. Las estaciones Cerro Cosor y Tatío registran las mínimas temperaturas, consistente con su ubicación geográfica, el resto de las estaciones registran temperaturas promedio por sobre los 15°C con una tendencia al ascenso hacia el final del mes.

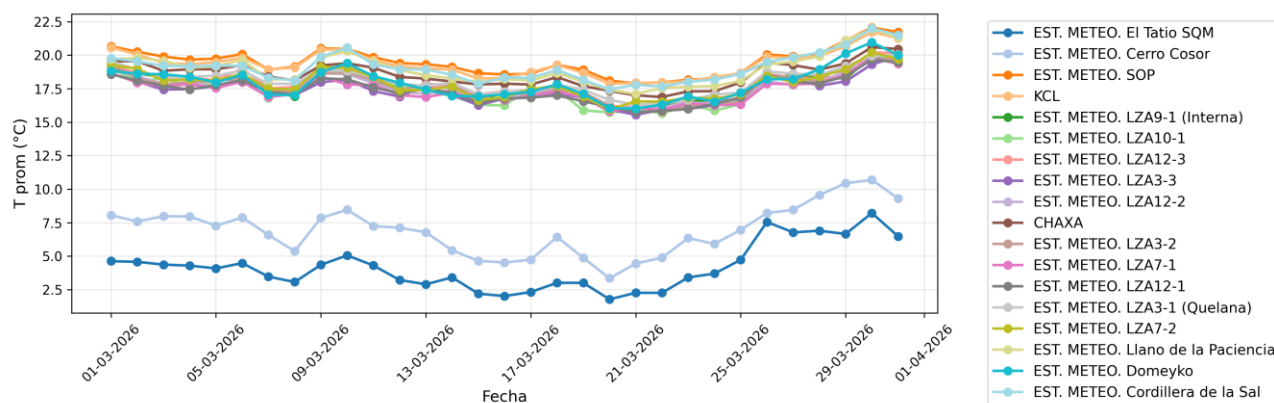


Figura 4. Temperatura del aire promedio diaria para el mes de marzo.

Radiación global

La Figura 5 muestra la radiación promedio diaria, se observa un descenso los días en que se registraron precipitaciones. En Chaxa y SOP se detectaron anomalías recurrentes en horarios específicos, atribuidas a interferencia del piranómetro por sombras de la infraestructura, según la información de las visitas de mantenimiento.

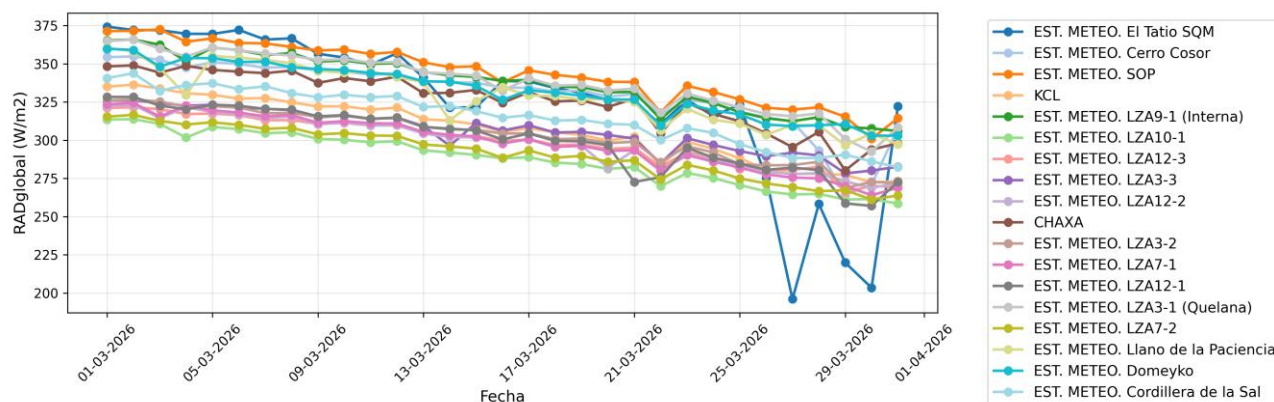


Figura 5. Radiación global promedio diaria para el mes de marzo.

Evaporación

En la Figura 6 se muestra la evaporación diaria. En el mes de marzo, los mínimos fueron alcanzados por Cordillera de la Sal el 13 y Chaxa el día 17 con 6,33 mm.

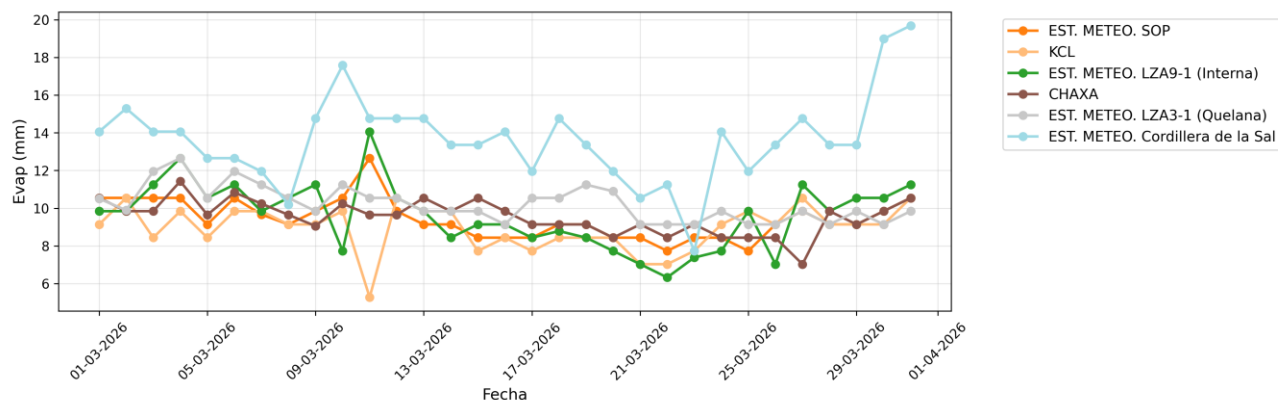


Figura 6. Evaporación diaria para el mes de marzo.

Se implementó un preprocesamiento para los registros cada 1 minuto del nivel de la bandeja de evaporación con el fin de reducir el ruido instrumental y evitar sobreestimaciones en la evaporación diaria, manteniendo la coherencia con la metodología histórica.

El análisis se aplicó solo a datos válidos y dentro de un rango físico (12–250 mm). Para eliminar fluctuaciones no físicas se utilizó un filtro Hampel con ventana de 60 minutos, y luego un suavizado mediante mediana móvil centrada de 60 minutos, sin perder resolución temporal.

En la Figura 7, los datos crudos se muestran como puntos y la señal suavizada como línea dominante, facilitando la interpretación técnica. Finalmente, la serie suavizada se usa para el cálculo diario de evaporación con la fórmula operacional original, asegurando trazabilidad y mayor robustez frente al ruido de alta frecuencia. Este efecto se observa principalmente en las estaciones KCL y Cordillera de la Sal; sin embargo, para mantener consistencia metodológica, el procedimiento se aplicó a todas las estaciones que miden esta variable.

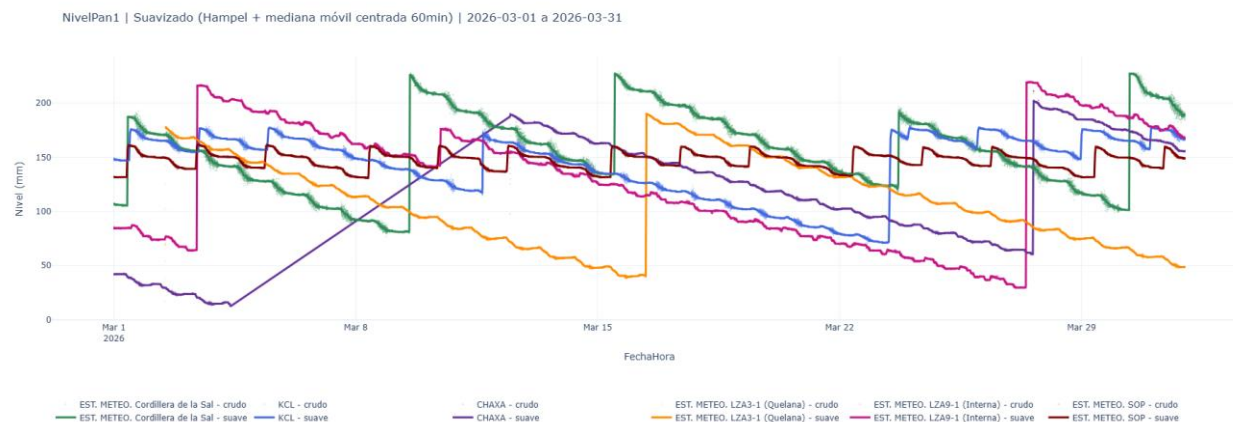


Figura 7: Preprocesamiento a registros de nivel de columna de agua del pan de evaporación.

Velocidad del viento y dirección del viento

Desde la Figura 8 a Figura 14 muestran rosas de los vientos construidas a partir de los datos de velocidad y dirección del viento de toda la red de estaciones meteorológicas de Novandino, agrupadas por sistemas y sectores

Rosas de los Vientos - Alta Montaña

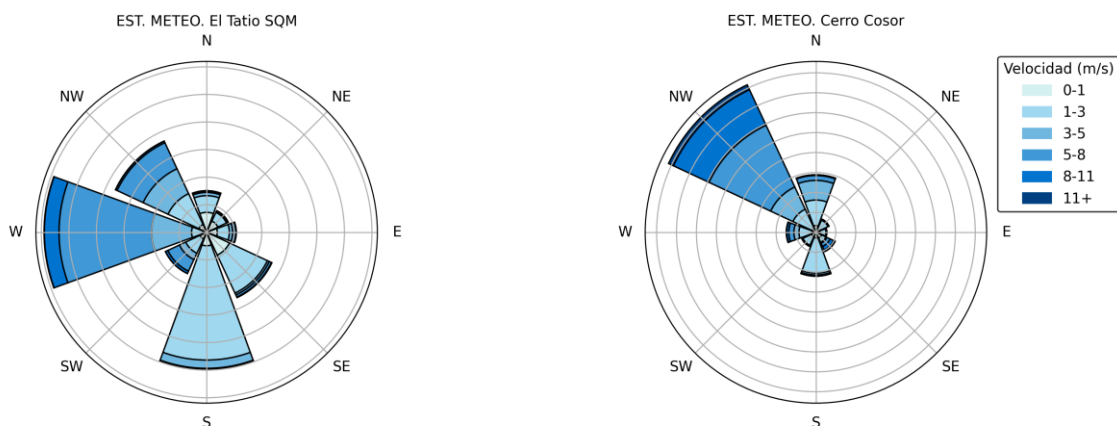


Figura 8. Comportamiento eólico estaciones meteorológicas sector Alta Montaña para el mes de marzo.

Rosas de los Vientos - Borde Este

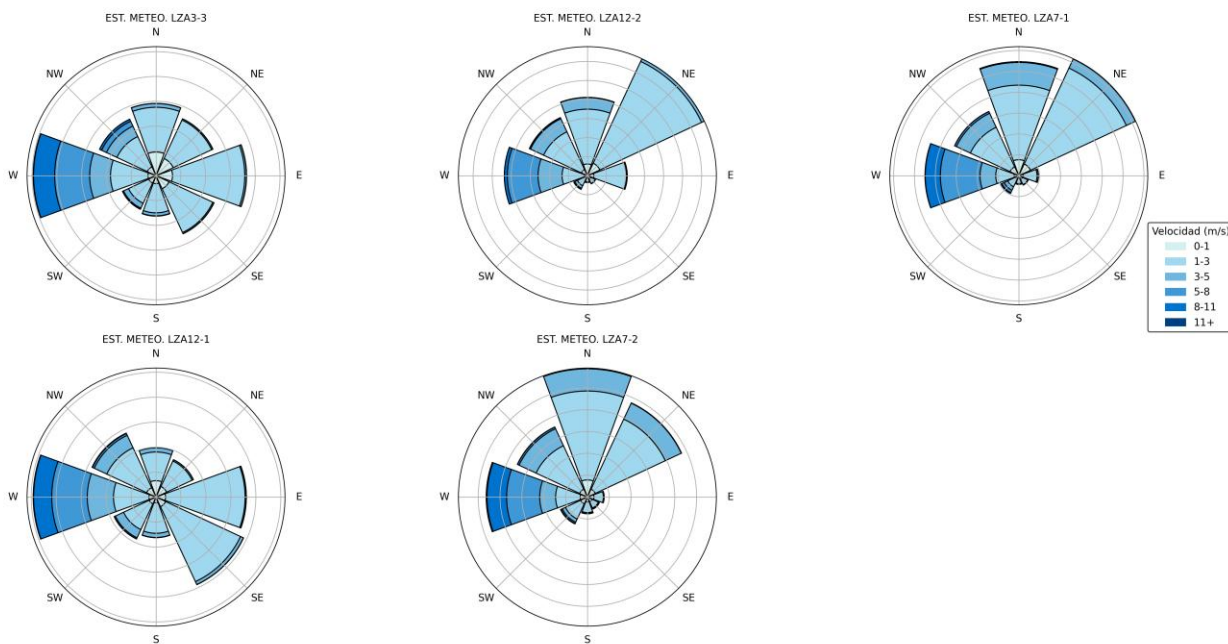


Figura 9: Comportamiento eólico estaciones meteorológicas Sistema Borde Este para el mes de marzo

Rosas de los Vientos - Cuenca Salar de Atacama

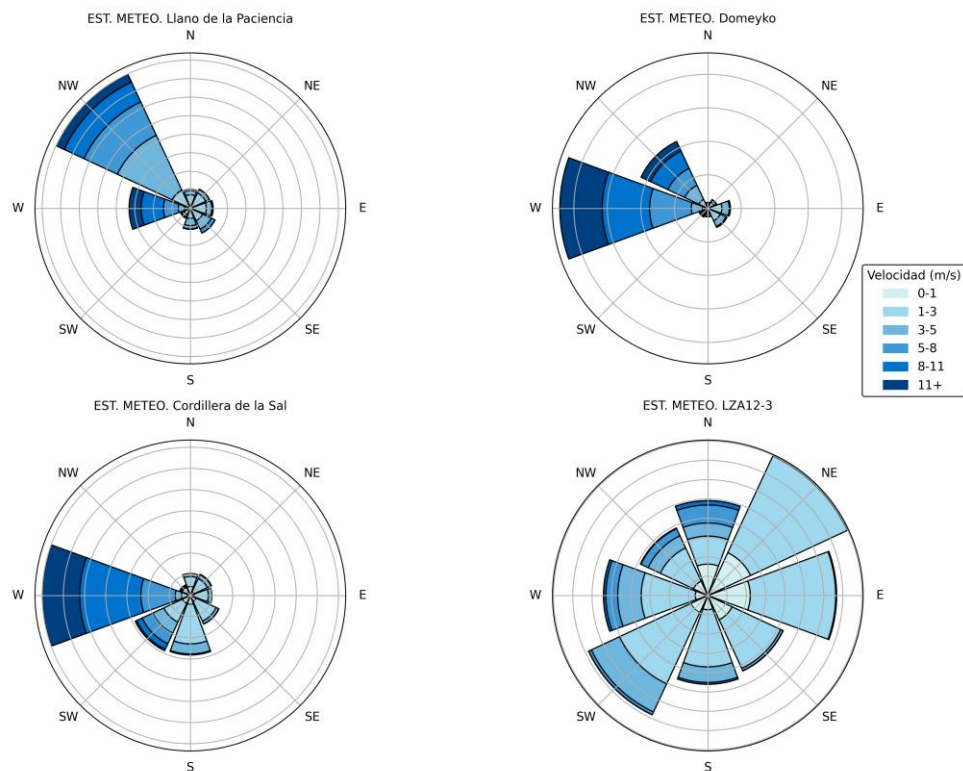


Figura 10: Comportamiento eólico estaciones meteorológicas sector Cuenca Salar de Atacama para el mes de marzo.

Rosas de los Vientos - Aguas de Quelana

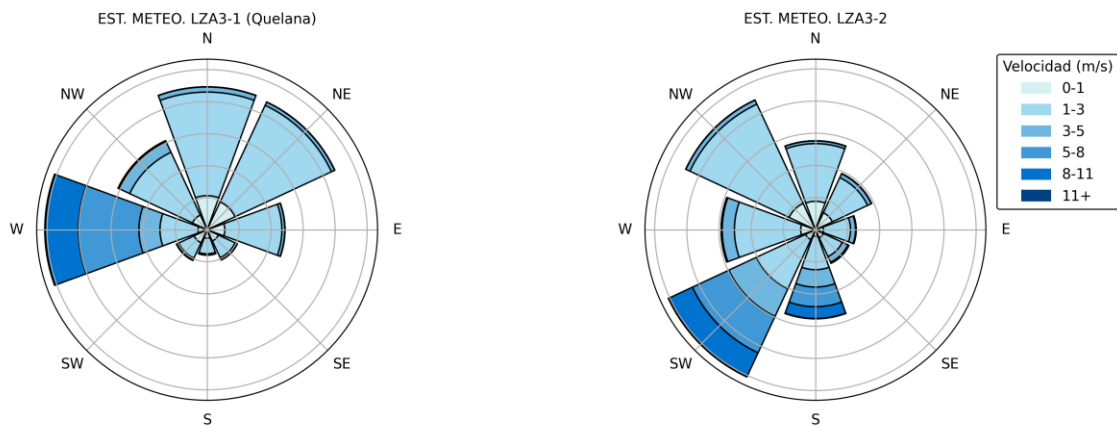


Figura 11: Comportamiento eólico estaciones meteorológicas Sistema Aguas de Quelana para el mes de marzo.

Rosas de los Vientos - Soncor

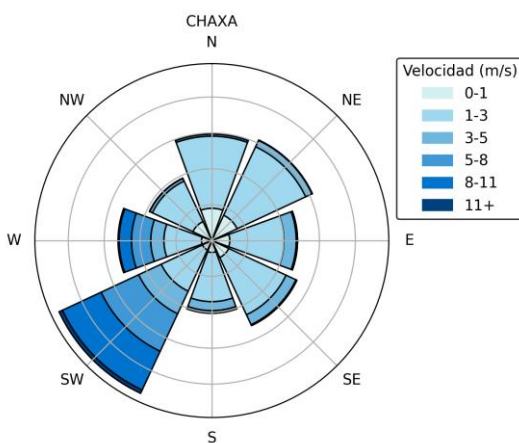


Figura 12: Comportamiento eólico estaciones meteorológicas Sistema Soncor para el mes de marzo
Rosas de los Vientos - Núcleo

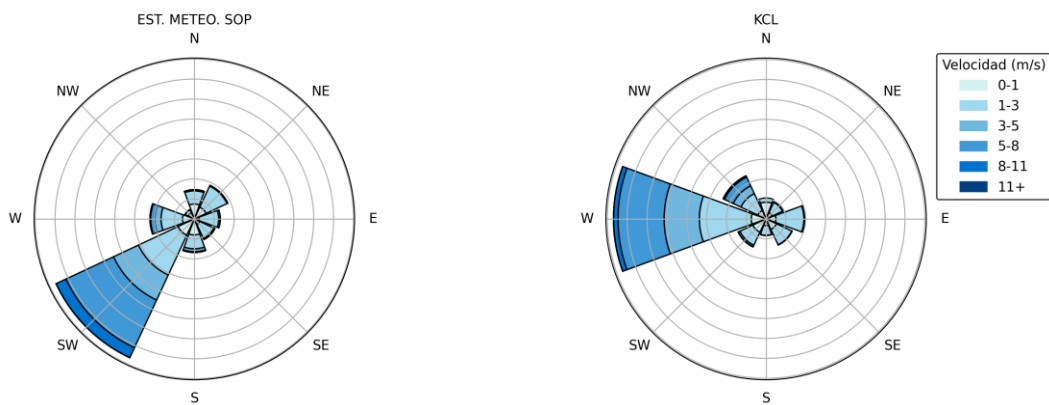


Figura 13: Comportamiento eólico estaciones meteorológicas sector Núcleo para el mes de marzo.
Rosas de los Vientos - Peine y Tilopozo

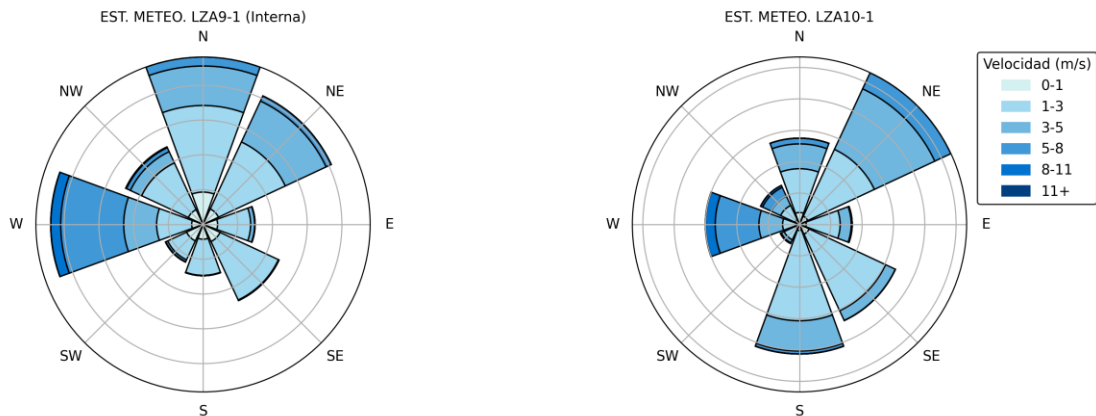


Figura 14: Comportamiento eólico estaciones meteorológicas Sistema Peine y Tilopozo para el mes de marzo.

Relleno de parámetros meteorológicos

En la Tabla 2 se detallan las estaciones cuyos parámetros fueron rellenos debido a contar con menos de un 95% de las mediciones diarias validadas. En el mes de marzo, se procedió a la reconfiguración de las estaciones para incrementar la frecuencia de captura de información de 5 minutos a 1 minuto. Asimismo, se rellenan los datos correspondientes al día de la configuración con el objetivo de prevenir valores atípicos en los promedios.

En marzo de 2025 se instaló una estación Lufft en LZA12-2, seguida por la instalación en LZA3-3, LZA12-1 y LZA7-2 en abril, y en LZA12-3, LZA3-2, LZA7-1 y LZA10-1 en mayo. Estas estaciones miden presión atmosférica, radiación global, velocidad y dirección del viento; cualquier futuro relleno de estas variables debe considerar este antecedente hasta contar con la cantidad suficiente de información.

El relleno se llevó a cabo con la herramienta desarrollada en Python por la consultora Flow Hidro (2023).

Tabla 2: Parámetros rellenos para el mes de marzo.

Estación	Fecha	Parámetros	Causa
CHAXA	3 al 15 de marzo de 2026	Evaporación	Pan de evaporación seco
	12 al 15 de marzo de 2026	Dirección del viento	Problema de transmisión satelital
		Humedad relativa	
		Precipitación	
		Presión atmosférica	
		Radiación global	
		Temperatura del aire	
		Velocidad del viento	
EST. METEO. Cordillera de la Sal	6 y 20 al 23 de marzo de 2026	Evaporación	Pan de evaporación seco
EST. METEO. LZA12-1	27 al 28 de marzo de 2026	Dirección del viento	Problema de transmisión satelital
		Humedad relativa	
		Presión atmosférica	
		Radiación global	
		Temperatura del aire	
		Velocidad del viento	
EST. METEO. LZA12-3	18 al 28 de marzo de 2026	Radiación global	Piranómetro cubierto / sucio posterior a las lluvias
EST. METEO. LZA3-1 (Quelana)	1 al 2 y 23 al 28 de marzo de 2026	Evaporación	Pan de evaporación seco
EST. METEO. LZA7-1	19 al 28 de marzo de 2026	Radiación global	Piranómetro cubierto / sucio posterior a las lluvias
EST. METEO. LZA9-1 (Interna)	1 al 3 de marzo de 2026	Evaporación	Pan de evaporación seco

La bandeja del pan de evaporación tiene una altura de 250 mm, se consideró una altura del 5% como condición de borde de mínima altura de columna de agua válido y así evitar considerar mediciones erróneas por parte del LT. Los registros menores a 12 mm fueron invalidados.

La precipitación se registró como 0 mm, dado que, en los días con pérdida de información en estaciones específicas, la red meteorológica de Novandino y estaciones de INIA no reportaron precipitaciones.

La estación LZA3-3 fue intervenida para realizar labores de mantención el 21 de marzo de 2026, ocasión en la que el PLC quedó configurado incorrectamente en UTC-2. Asimismo, la estación LZA3-2 fue visitada el 16 de marzo de 2026, quedando su PLC configurado en UTC-5.

Estas configuraciones difieren de las utilizadas en el resto de la red, cuyos PLC operan en UTC 0, mientras que la información es almacenada en las bases de datos de Novandino en UTC-4. La configuración horaria de LZA3-2 fue corregida el 15 de mayo de 2026 y para el caso de LZA3-3, la corrección fue realizada durante el mes de junio.

Para el cálculo de los parámetros diarios, los registros afectados fueron extraídos y convertidos desde la zona horaria configurada en cada estación a UTC-4, sin modificar la base de datos original. Posteriormente, dichos registros fueron invalidados y etiquetados con un comentario que documenta esta condición.

Evaporación

En la Tabla 3 se detalla las estaciones utilizadas para el relleno de evaporación y la matriz de correlación de esta variable se presenta en la Figura 15.

Tabla 3: Estaciones utilizadas para el relleno de evaporación.

Variable	Estación	Estaciones usadas como referencia
Evaporación	CHAXA	EST. METEO. LZA3-1 (Quelana)
	EST. METEO. Cordillera de la Sal	EST. METEO. LZA9-1 (Interna)
	EST. METEO. LZA3-1 (Quelana)	CHAXA
	EST. METEO. LZA9-1 (Interna)	EST. METEO. Cordillera de la Sal

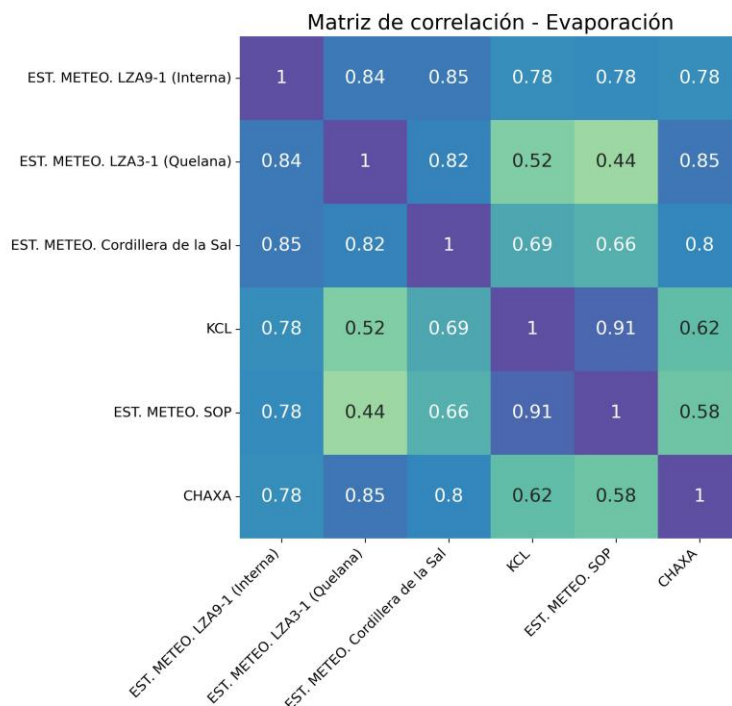


Figura 15. Matriz de correlación para la evaporación.

Dirección del viento

En la Tabla 4 se detallan las estaciones utilizadas para el relleno y en la matriz de correlación para la dirección del viento se presenta en la Figura 16.

Tabla 4: Estaciones utilizadas para el relleno de la dirección del viento.

Variable	Estación	Estaciones usadas como referencia
Dirección del viento	CHAXA	EST. METEO. LZA3-3
	EST. METEO. LZA12-1	EST. METEO. LZA3-3

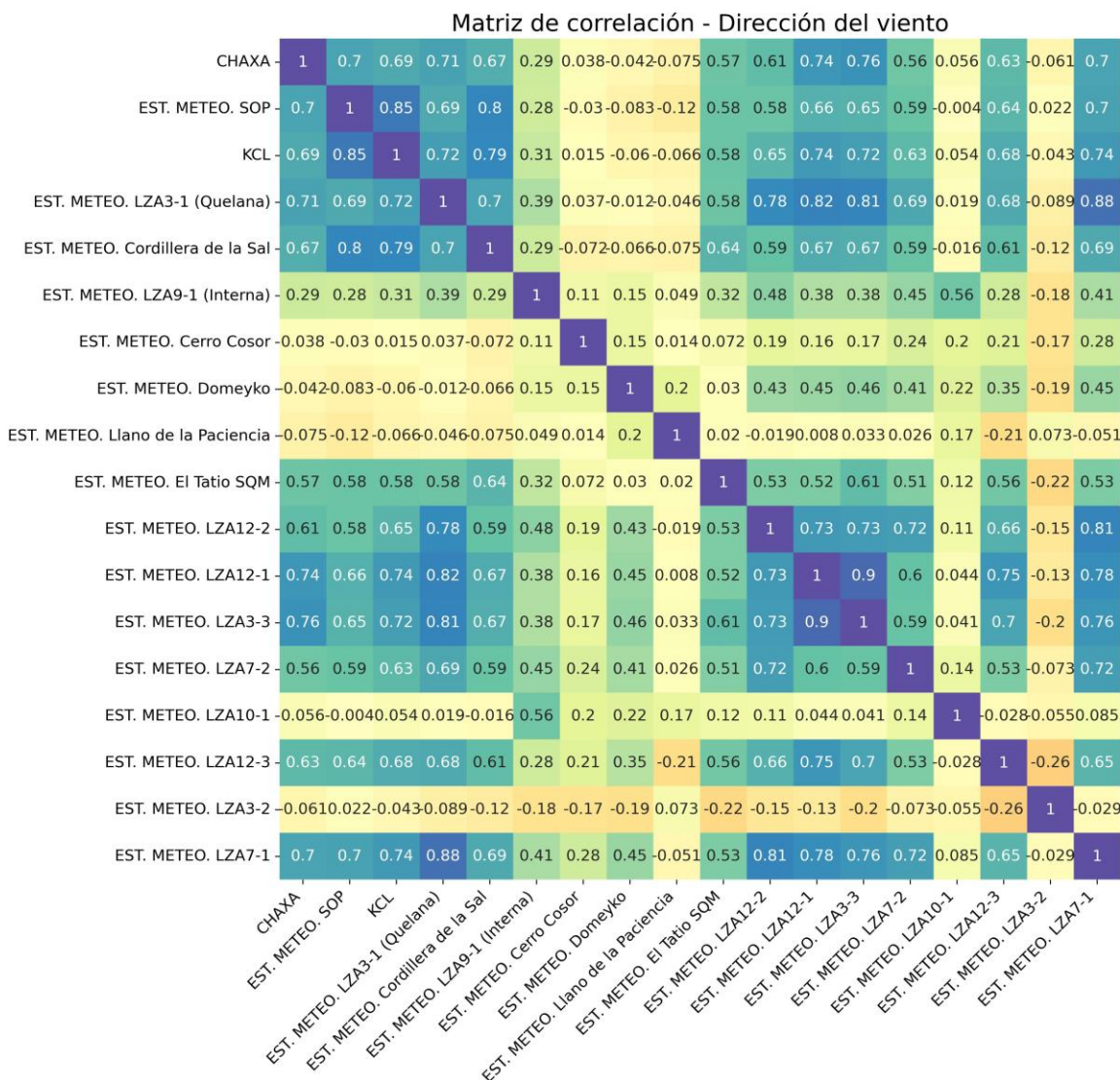


Figura 16. Matriz de correlación para la dirección del viento.

Humedad relativa

En la Figura 17 se presenta la matriz de correlación para la dirección del viento y en la Tabla 5 se detallan las estaciones utilizadas para el relleno.

Tabla 5: Estaciones utilizadas para el relleno de la humedad relativa.

Variable	Estación	Estaciones usadas como referencia
Humedad relativa	CHAXA	EST. METEO. LZA3-1 (Quelana)
	EST. METEO. LZA12-1	EST. METEO. LZA12-2

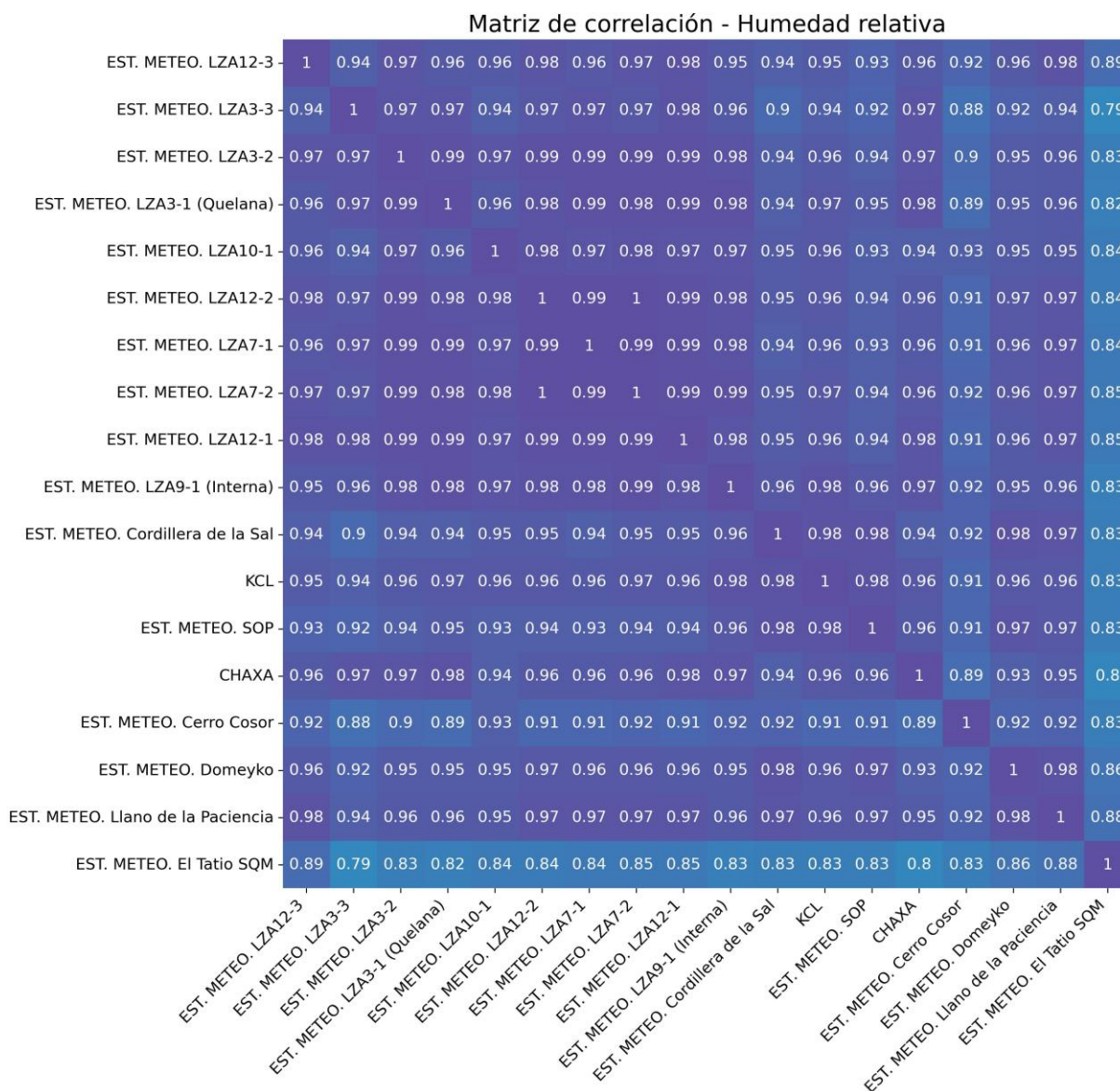


Figura 17: Matriz de correlación para la humedad relativa.

Presión atmosférica

En la Tabla 6 se detallan las estaciones utilizadas para el relleno y en la matriz de correlación para la dirección del viento se presenta en la Figura 18.

Tabla 6: Estaciones utilizadas para el relleno de la presión atmosférica con sus respectivos coeficientes de correlación.

Variable	Estación	Estaciones usadas como referencia
Presión atmosférica	CHAXA	EST. METEO. LZA3-2
	EST. METEO. LZA12-1	EST. METEO. LZA3-3

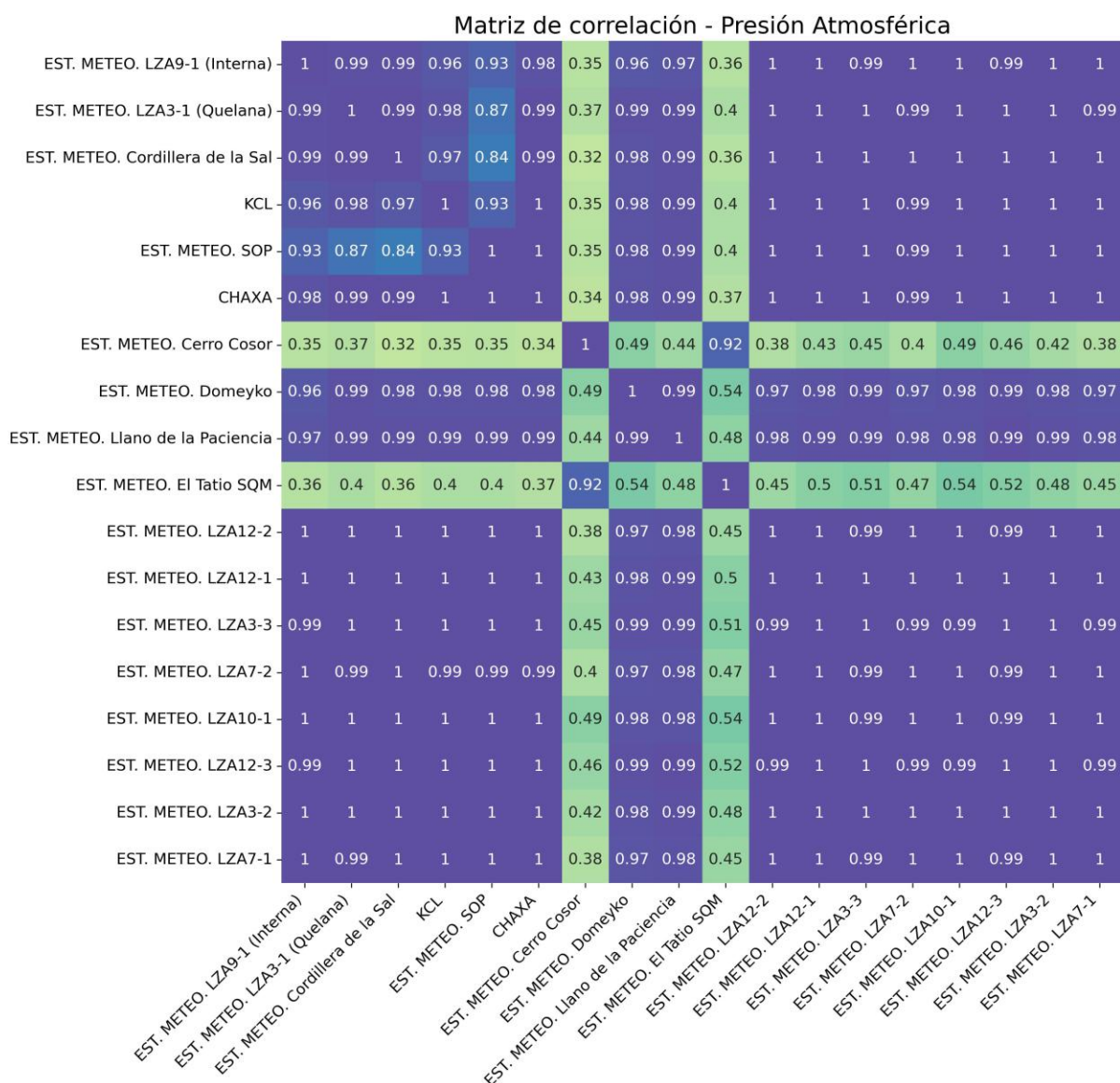


Figura 18: Matriz de correlación para la presión atmosférica.

Radiación global

En la Figura 19 se presenta la matriz de correlación para la radiación global y en la Tabla 7 se detallan las estaciones utilizadas para el relleno.

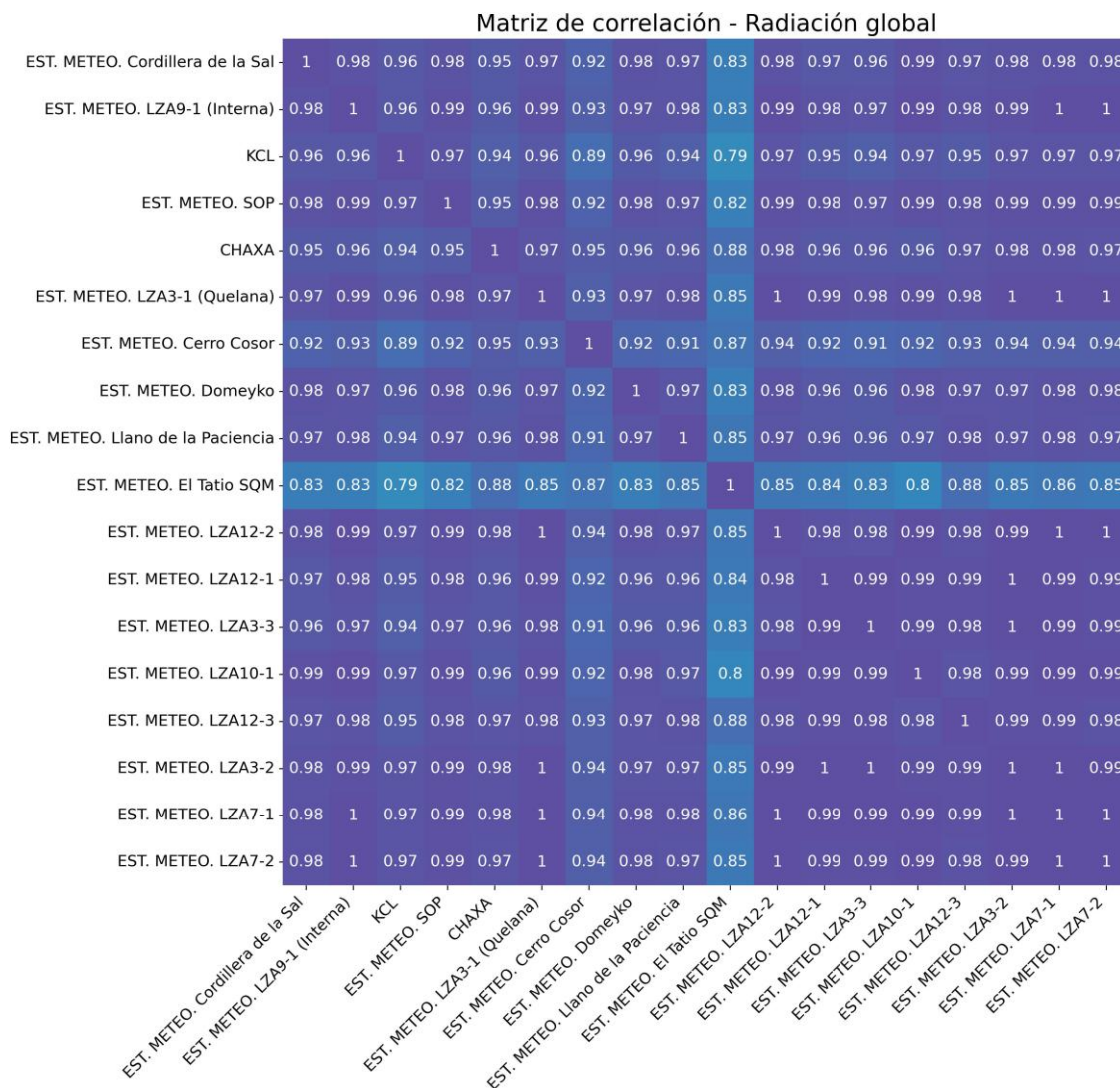


Figura 19: Matriz de correlación para la radiación global.

Tabla 7: Estaciones utilizadas para el relleno de la radiación global.

Variable	Estación	Estaciones usadas como referencia
Radiación global	CHAXA	EST. METEO. LZA3-2
	EST. METEO. LZA12-1	EST. METEO. LZA3-2
	EST. METEO. LZA12-3	EST. METEO. LZA3-2
	EST. METEO. LZA7-1	EST. METEO. LZA12-2

Temperatura del aire

En la Tabla 8 se detallan las estaciones utilizadas para el relleno y la matriz de correlación para la dirección del viento se presenta en la Figura 20.

Tabla 8: Estaciones utilizadas para el relleno de la temperatura del aire.

Variable	Estación	Estaciones usadas como referencia
Temperatura del aire	CHAXA	EST. METEO. LZA3-1 (Quelana)
Temperatura del aire	EST. METEO. LZA12-1	EST. METEO. LZA3-3

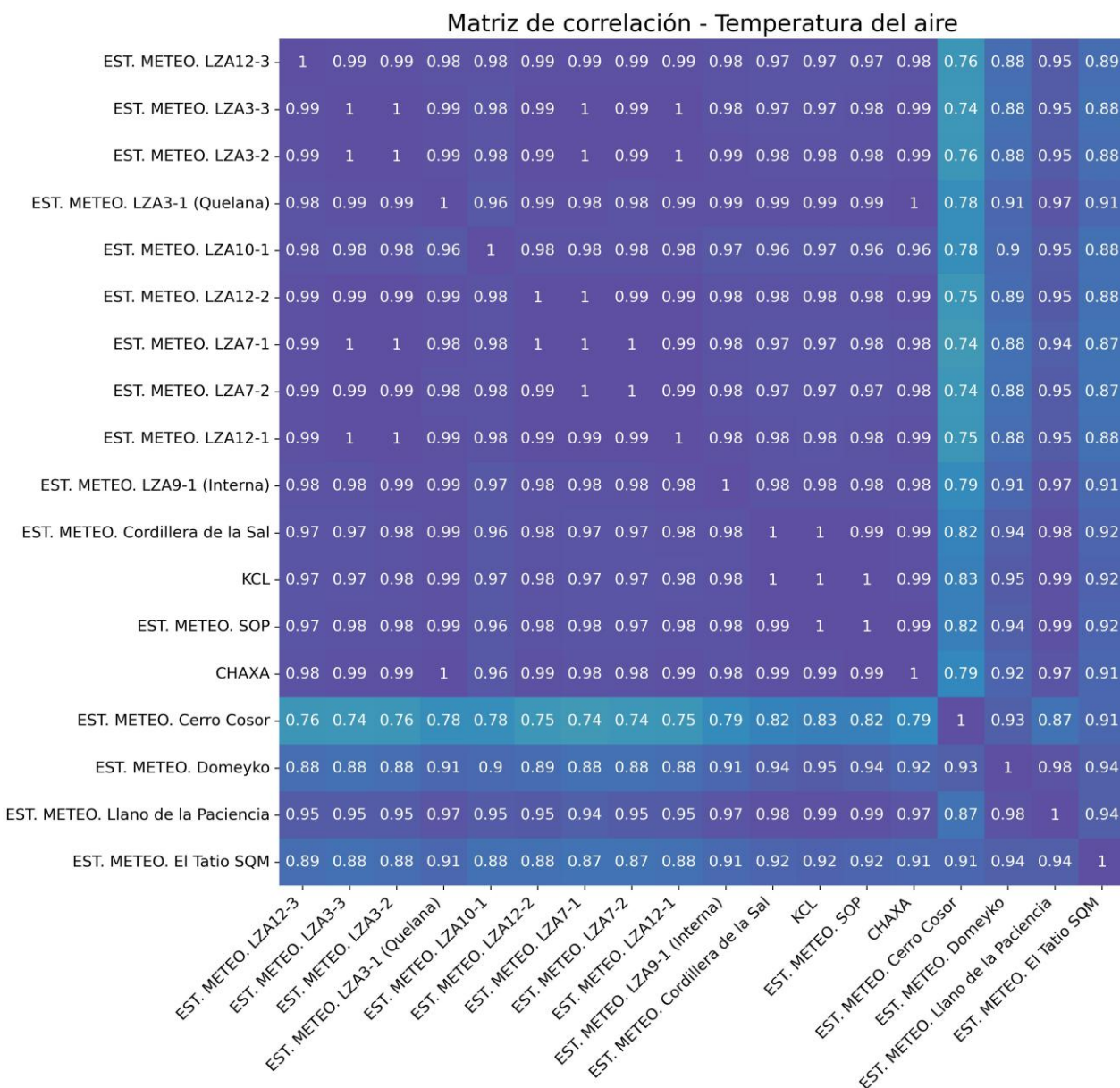


Figura 20: Matriz de correlación para la temperatura del aire.

Velocidad del viento

En la Figura 21 se presenta la matriz de correlación para la velocidad del viento y en la Tabla 9 se detallan las estaciones utilizadas para el relleno.

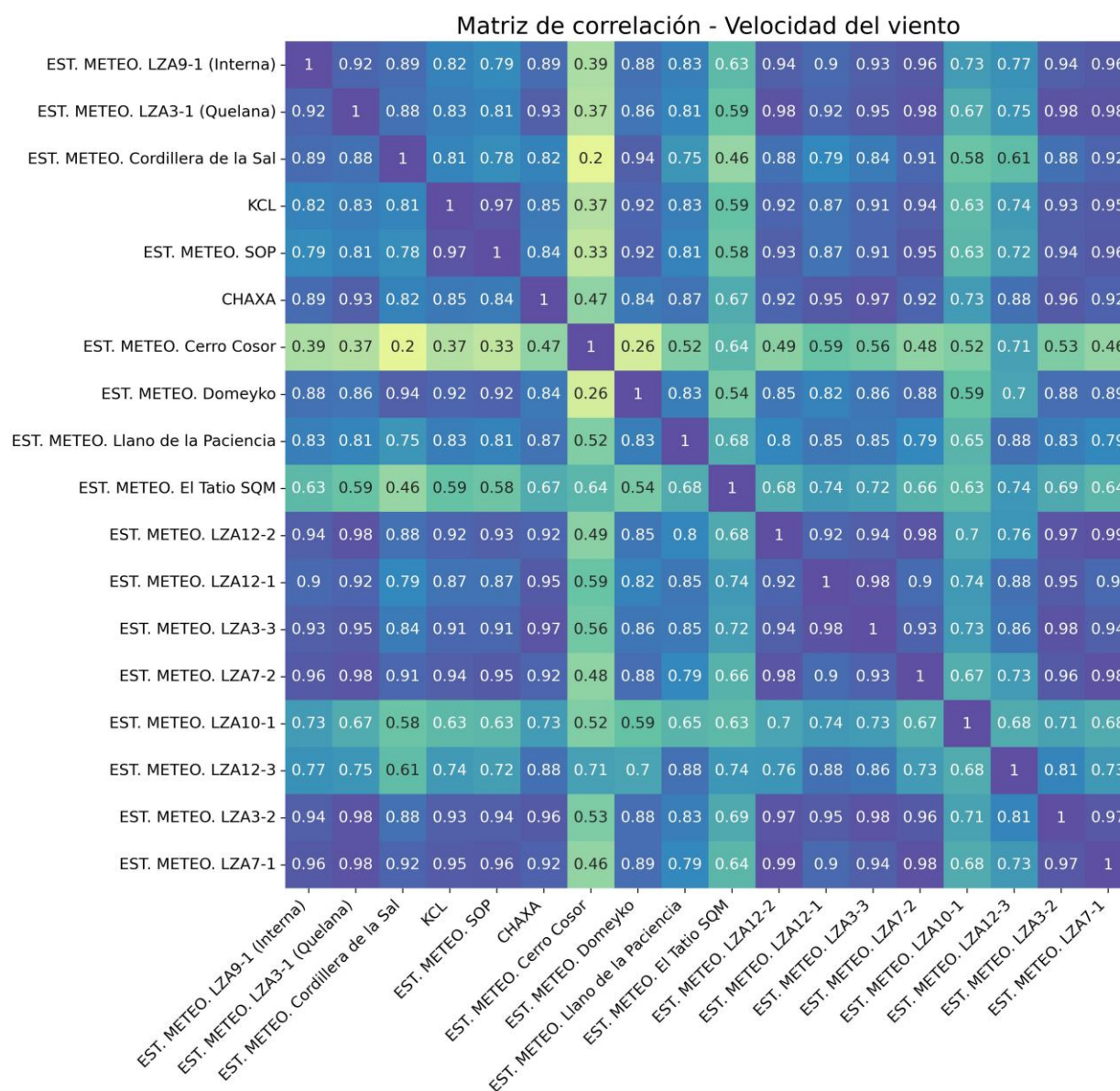


Figura 21: Matriz de correlación para la velocidad del viento.

Tabla 9: Estaciones utilizadas para el relleno de la velocidad del viento.

Variable	Estación	Estaciones usadas como referencia
Velocidad del viento	CHAXA	EST. METEO. LZA3-3
Velocidad del viento	EST. METEO. LZA12-1	EST. METEO. LZA3-3

Conclusiones

El relleno de las estaciones con un porcentaje validado menor al 95% fue realizado con la herramienta desarrollada en Python por la consultora Flow Hidro, utilizando como referencia mediciones registradas en otras estaciones de la red de monitoreo meteorológico NOVANDINO. Entre las razones para requerir relleno se encuentran secado del pan de evaporación, fallas en la transmisión y suciedad en el piranómetro posterior a las lluvias.

Referencias

Flow Hydro Consulting. (2023). *Instructivo Python para relleno de datos meteorología SQM*.