
ANEXO 11

Mediciones Variables meteorológicas

Anexo 11.1

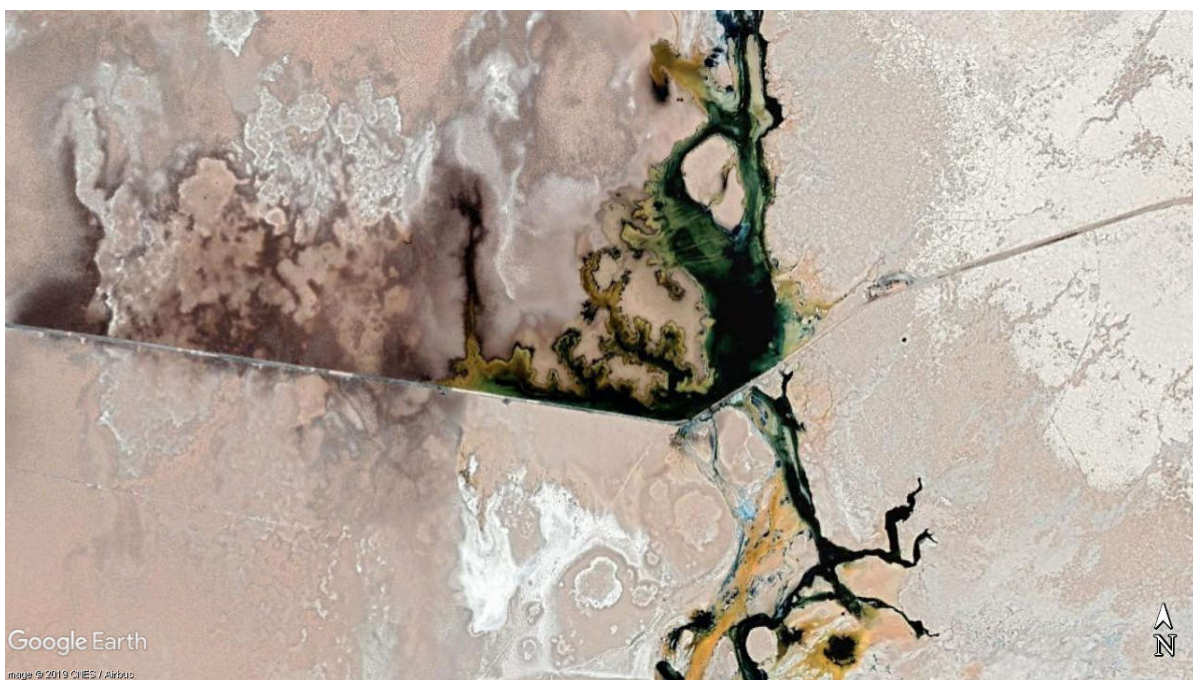
Informes para el relleno de series

Anexo 11.2

Resultados variables meteorológicas

Anexo 11.1

Informes para el relleno de series



Título del documento:	Relleno de datos de evaporación de bandeja para la estación Chaxa, meses desde diciembre de 2019 a mayo de 2020
Tipo de documento:	Reporte Técnico
Enviado a:	Ximena Aravena – Jefe de Medio Ambiente, SQM Salar S.A.
Empresa:	SQM Salar S.A.
Fecha	9 de junio de 2020

TABLA DE CONTENIDOS

1	INTRODUCCIÓN	3
2	ANÁLISIS INFORMACIÓN Y ASPECTOS METODOLÓGICOS	5
2.1	Información disponible y control de calidad (QA/QC)	5
2.2	Análisis estadístico y correlaciones de datos	10
2.3	Metodología para el relleno	13
3	RELLENO DE DATOS ESTACIÓN CHAXA.....	14
4	RESUMEN Y CONCLUSIONES.....	17
	ANEXO 1	20
	ANEXO 2	21
	ANEXO 3	24

1 INTRODUCCIÓN

La Gerencia de Medio Ambiente de SQM Salar ha solicitado a **Flow** el apoyo técnico para rellenar las series de evaporación de tanque de la estación meteorológica Chaxa, en un periodo de 5 meses, empleando técnicas estadísticas utilizadas en el tratamiento de datos hidrológicos.

La estación Chaxa está ubicada al noreste del salar de Atacama y no dispone de datos de evaporación de bandeja entre los meses de diciembre de 2019 y mayo de 2020, ambos incluidos, debido a dificultades logísticas para tener acceso a las bandejas de evaporación para dar continuidad a la medición. Estos datos son necesarios para los reportes a la Autoridad, en el marco de los compromisos ambientales que mantiene SQM Salar como Titular de sus proyectos de extracción de salmuera.

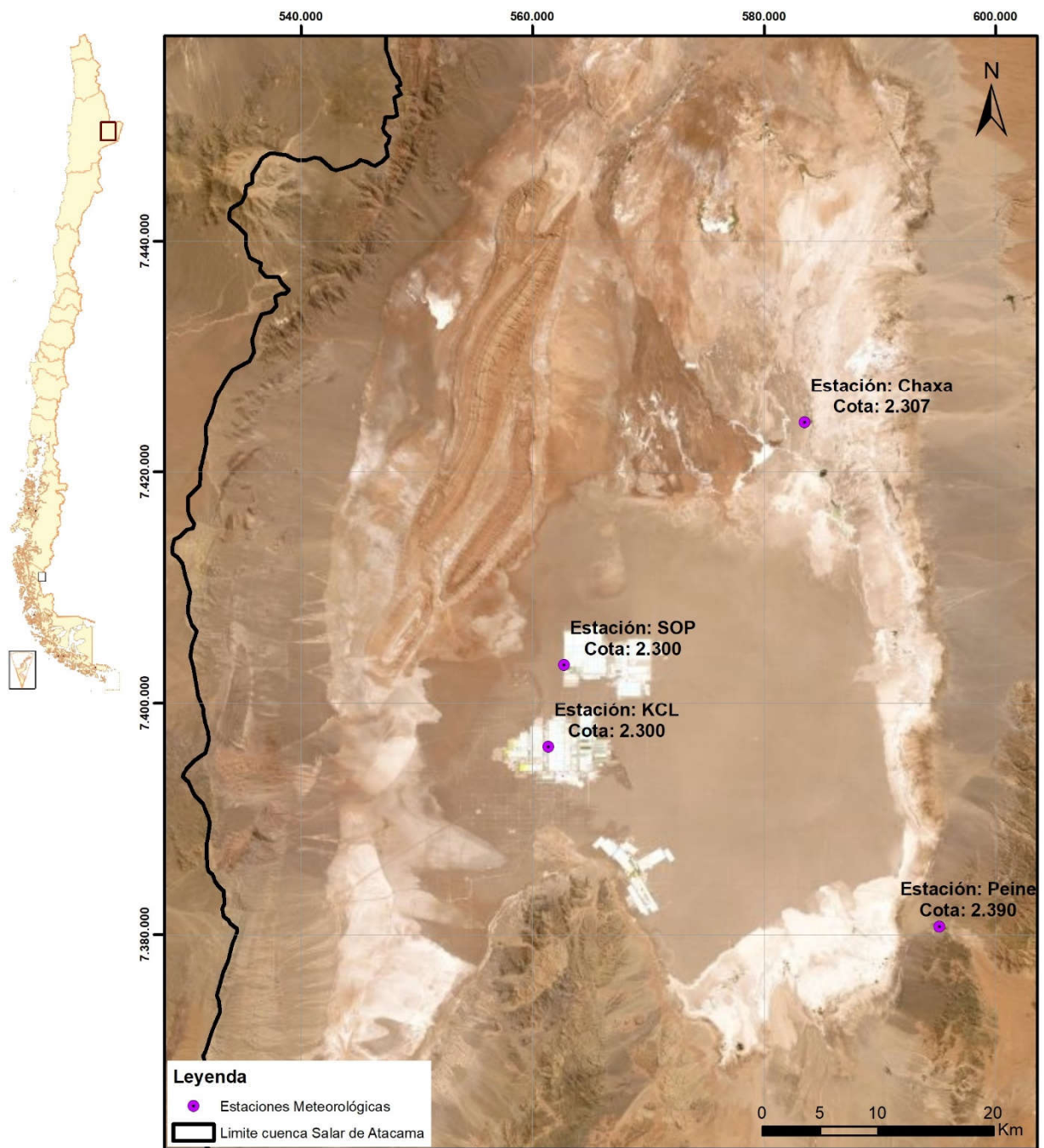
El **objetivo** de este documento es presentar los resultados del relleno realizado a los datos de evaporación de tanque, respaldando además la metodología y el análisis realizado.

El **alcance** del trabajo consideró el desarrollo de las siguientes actividades:

- 1. Revisión de los datos y control de calidad (QA/QC).** Los registros entregados de la estación Chaxa con datos faltantes y los de las estaciones vecinas fueron revisados para reconocer los vacíos de información y la disponibilidad general de datos. Se evaluó la correlación y aleatoriedad, según lo que se definieron las estaciones para realizar el relleno.
- 2. Relleno de datos de evaporación.** Se aplicó la metodología de estudios previos (Flow, 2019a) para rellenar los datos faltantes de la estación Chaxa, incluyendo un reporte de los parámetros ajustados y la visualización gráfica del resultado.
- 3. Reportabilidad y entrega.** Corresponde a este documento, que contiene la información necesaria para respaldar la metodología y los resultados obtenidos.

La ubicación de las estaciones meteorológicas que miden evaporación de tanque y que han sido utilizadas en este estudio se presentan en la Figura 1-1. Además de Chaxa, se usaron las estaciones SOP, KCL (propiedad de SQM) y Peine (propiedad de la DGA).

El presente informe está estructurado en 4 capítulos además de las Referencias y Anexos. A continuación de esta introducción se desarrolla el Capítulo 2, que describe las etapas con que se abordó el estudio, para cubrir los alcances definidos en los párrafos precedentes. Posteriormente, el Capítulo 3 presenta los resultados obtenidos de aplicar la metodología estadística de relleno y finalmente el Capítulo 4 contiene el resumen y las conclusiones del trabajo, con los aspectos más importantes de este reporte.



Fuente: Flow

Figura 1-1. Ubicación de estaciones usadas para el estudio del relleno de evaporación de tanque en Chaxa (cota en msnm)

2 ANÁLISIS INFORMACIÓN Y ASPECTOS METODOLÓGICOS

Para abordar los alcances definidos previamente, se desarrollaron 3 actividades que se describen en este Capítulo 2:

- Información disponible y control de calidad (QA/QC)
- Análisis estadístico y correlaciones de datos
- Metodología para el relleno

2.1 Información disponible y control de calidad (QA/QC)

La información de evaporación de que se dispuso para este estudio varía según cada estación meteorológica. Las fechas de inicio y fin de datos se resumen en la Tabla 2-1, mientras que el detalle a nivel diario se presenta gráficamente en la Figura 2-1, desde enero del 2000 hasta mayo del 2020.

Los datos fueron provistos por SQM, con excepción de la estación Peine. Parte de la información proporcionada se obtuvo de reportabilidad previa con el mismo propósito de este informe (Flow, 2019b).

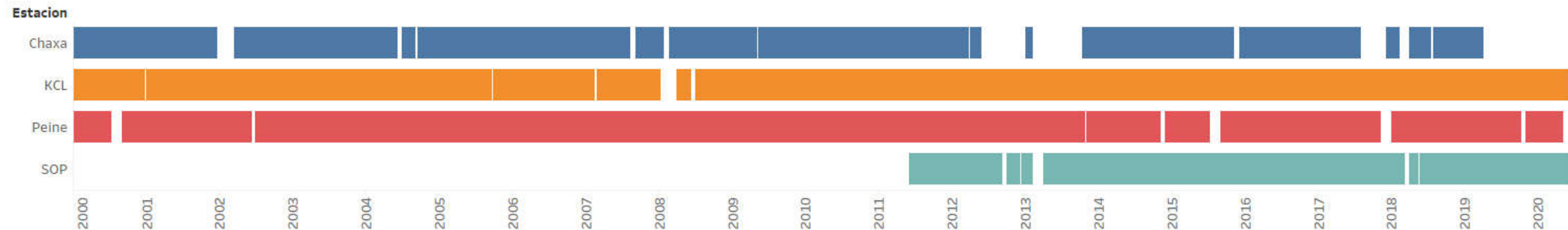
Tabla 2-1: Coordenadas de estaciones y fechas de las series de evaporación de bandeja en estaciones utilizadas

	Chaxa	KCL	Peine	SOP
UTM Este (m)	583.500	561.354	595.137	562.717
UTM Norte (m)	7.424.261	7.396.247	7.380.682	7.403.324
Cota (msnm)	2.307	2.300	2.390	2.300
Fecha primer dato	01-08-99	20-09-99	21-11-74	01-06-11
Fecha último dato	27-03-19	31-05-20	29-04-20	31-05-20

Fuente: Elaboración propia

La estación Peine es la que dispone del registro más extenso, desde noviembre de 1974 a abril de 2020. La Base de Datos se entrega como Anexo digital de este documento y fue utilizada para el análisis presentado en este documento. La estación SOP (o MOP II), por su parte, dispone de datos a partir de junio de 2011, lo que la hace la más reciente. A pesar de esto, muestra 9 años de información casi continua hasta noviembre de 2019.

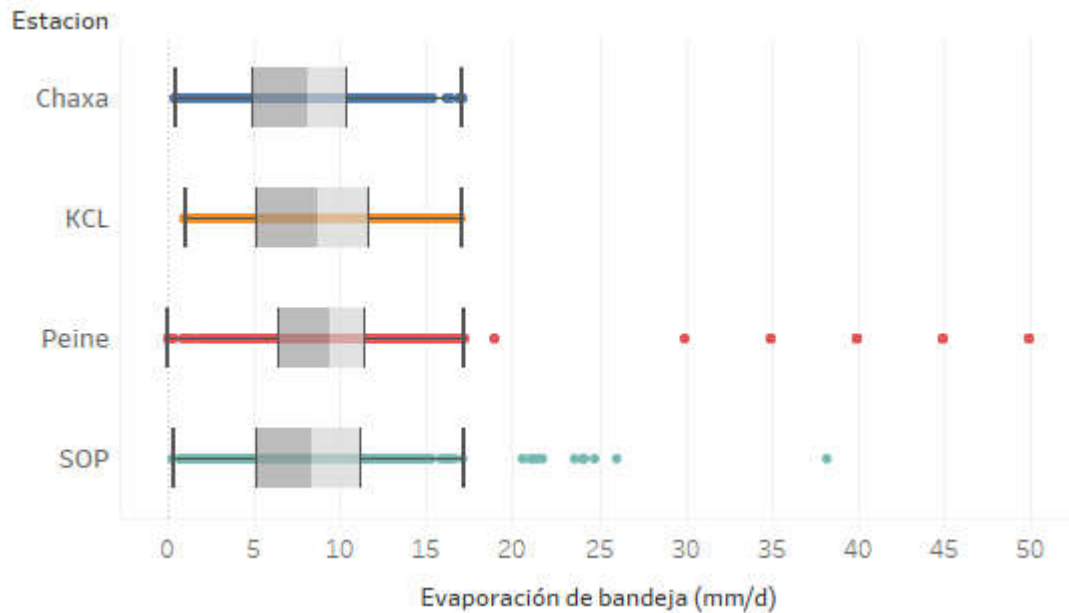
A la información recibida se realizó un control de calidad (QA/QC), graficando los diagramas de Box Plot con los cuartiles de la distribución de datos, para reconocer los *outliers*. Los *outliers* fueron identificados como aquellos datos que se encuentran 1,5 veces el rango intercuartil (RI) por sobre el cuartil 3 (Q3) o bajo el cuartil 1 (Q1), siendo $RI = Q3 - Q1$.



Fuente: Flow

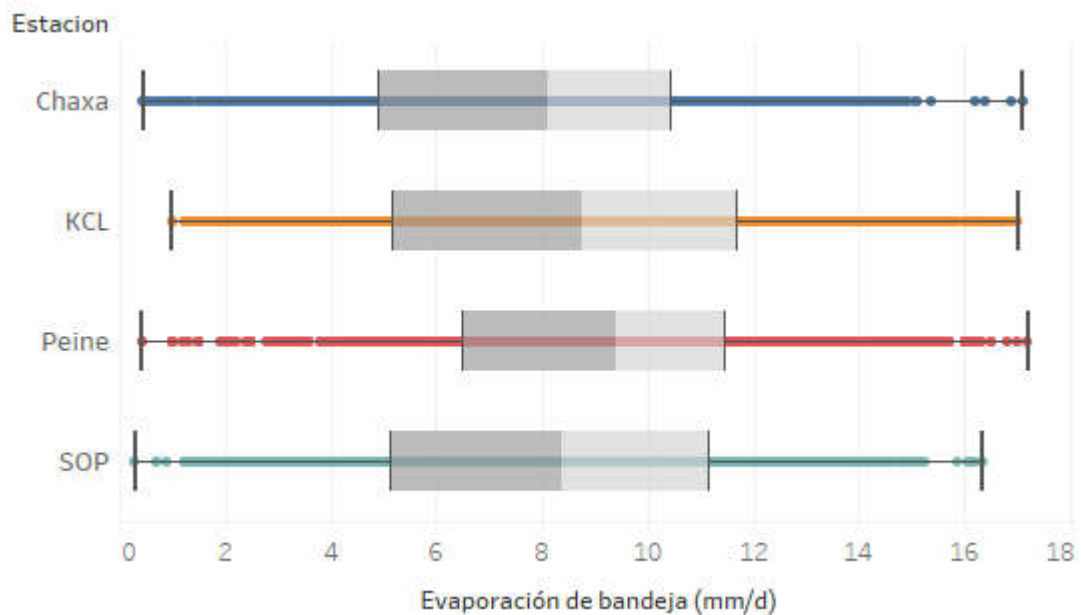
Figura 2-1: Diagrama de barras que presenta la disponibilidad de información a escala diaria en las estaciones revisadas en este trabajo, a partir del año 2000

Los diagramas de Box Plot mostrando los datos sin filtrar, previo al control de calidad, se presentan en la Figura 2-2, mientras que en la Figura 2-3 se presentan los mismos diagramas reflejando sólo la información que se ha definido para utilizar en este trabajo.



Fuente: Flow

Figura 2-2: Diagrama de Box plot con todos los datos, donde se muestran outliers

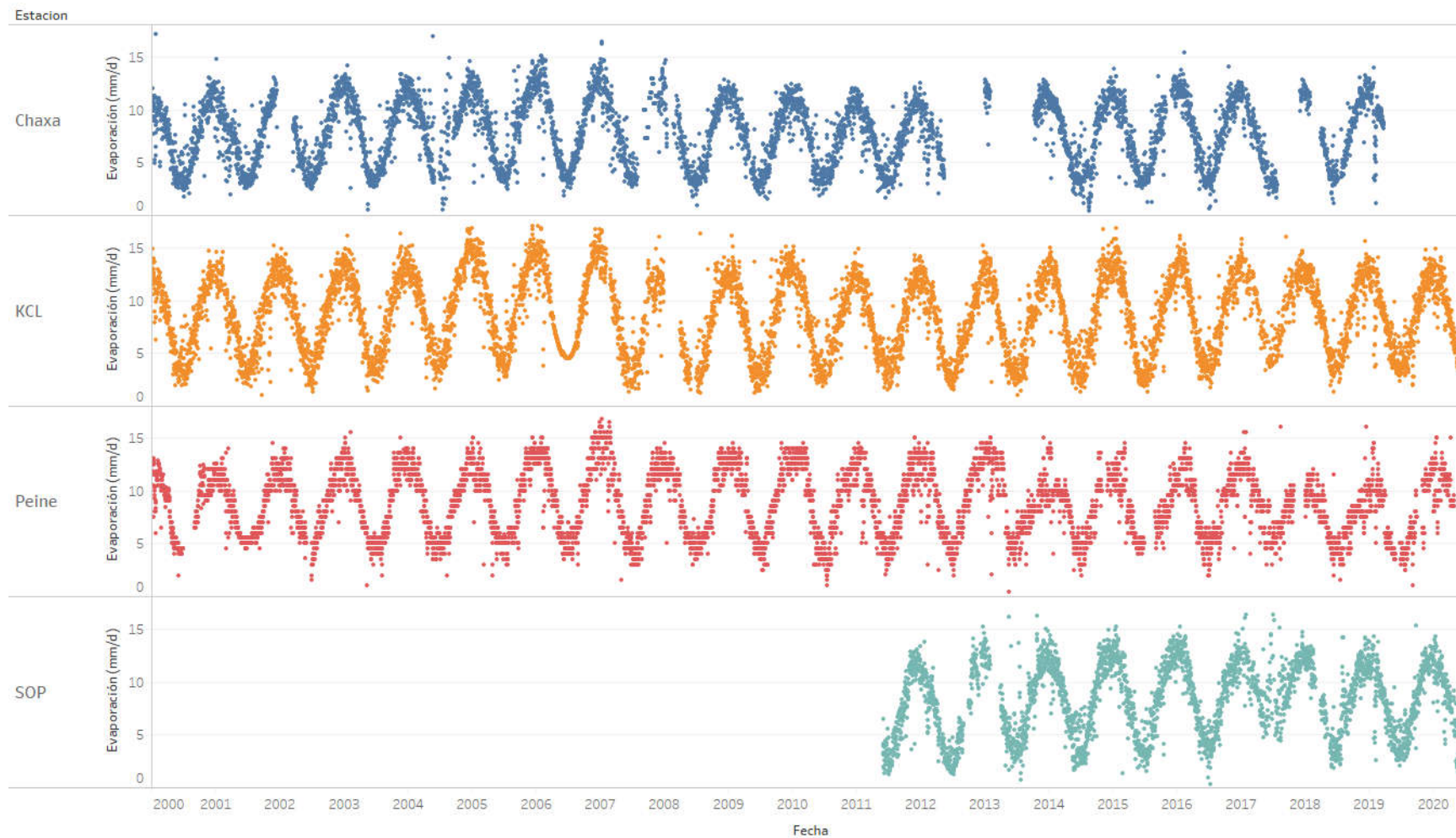


Fuente: Flow

Figura 2-3: Diagrama de Box plot con los datos filtrados

En el ANEXO 2 se detallan los datos que han sido identificados como posibles mediciones erróneas o registros mal digitados, que particularmente corresponden a las estaciones SOP y Peine.

Por otra parte, las series de evaporación fueron graficadas en el tiempo para todas las estaciones (Figura 2-4), mostrando un comportamiento sinusoidal, que oscila desde máximos de evaporación en verano (normalmente enero o diciembre) y mínimos de evaporación en invierno (típicamente junio o julio). Los máximos se encuentran en la mayoría de los casos entre los 12 y 16 mm/d para todas las estaciones, mientras que los mínimos se sitúan en el rango de 1 y 3 mm/d. La forma de las series es muy similar entre las estaciones, sin embargo, efectos locales pueden marcar la diferencia entre las magnitudes específicas de cada una (viento o radiación solar directa, por ejemplo).



Fuente: Flow

Figura 2-4: Series de tiempo de la evaporación de bandeja sin rellenar, para las estaciones utilizadas en este trabajo (años 2000 a 2020)

2.2 Análisis estadístico y correlaciones de datos

A las series filtradas (sin datos anómalos o *outliers*) se calculó los estadísticos que se presentan en la Tabla 2-2, entre los que se incluyen el promedio y la desviación estándar. Los valores promedio fluctúan entre 7,8 mm/d (Chaxa) y 9,11 mm/d (Peine), mientras que las desviaciones típicas lo hacen entre 2,95 mm/d (Peine) y 3,62 mm/d (KCL).

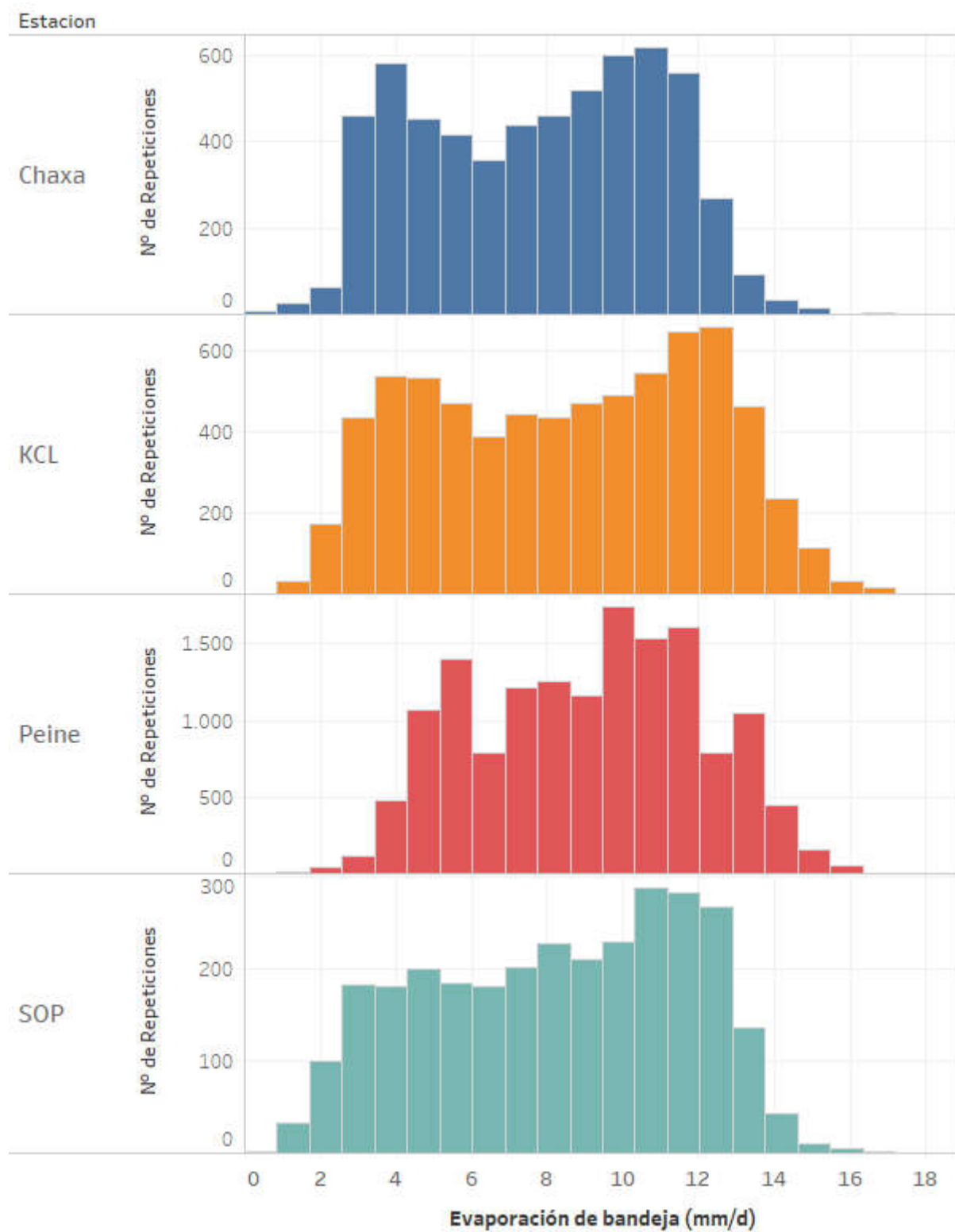
La Figura 2-5 muestra los histogramas de los datos, que permiten inferir la distribución estadística de las series de evaporación de bandeja y comparar el comportamiento entre las distintas estaciones. Los histogramas muestran alta simetría, lo que se vislumbra a través de los coeficientes de asimetría cercanos a cero en la Tabla 2-2. Cualitativamente, las distribuciones se asemejan a Gaussianas.

Tabla 2-2: Estadísticos de las series de evaporación de bandeja en estaciones utilizadas

	Chaxa	KCL	Peine	SOP
Promedio [mm/d]	7,80	8,54	9,11	8,26
Máximo [mm/d]	17,10	17,00	17,20	16,35
Mínimo [mm/d]	0,45	1,00	0,43	0,30
Varianza [mm/d]	9,67	13,12	8,68	11,71
Desviación Estándar [mm/d]	3,11	3,62	2,95	3,42
Coeficiente de variación [-]	0,40	0,42	0,32	0,41
Coeficiente de asimetría [-]	-0,08	-0,06	-0,09	-0,18

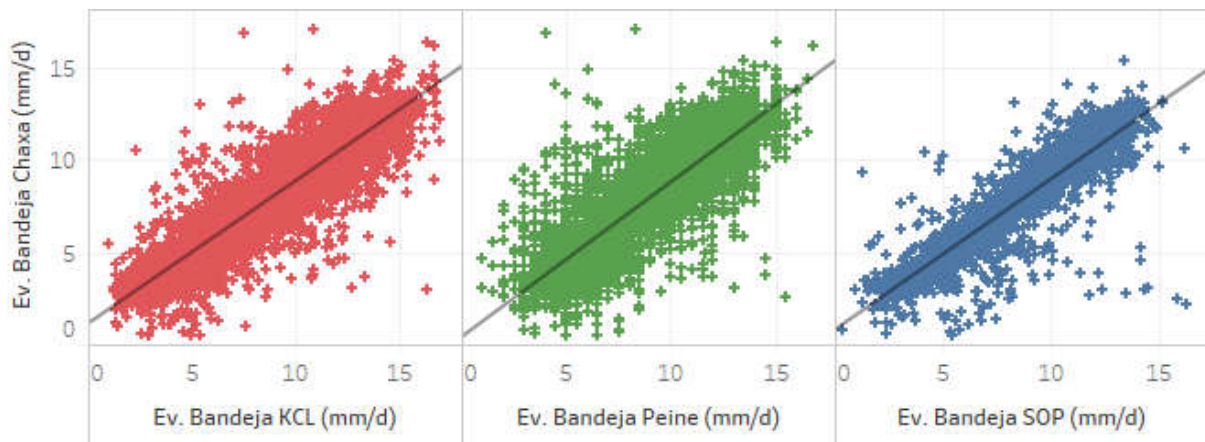
Fuente: Flow

Por otro lado, se calcularon las correlaciones entre la estación Chaxa (que requiere el relleno de datos) y las demás estaciones consideradas en este trabajo. Los valores son altos, con coeficientes de determinación (R^2) entre 0,70 y 0,83 (Figura 2-6 y Figura 2-7). La mayor correlación de datos se da con la estación KCL (0,83), seguida por la que mantiene con la estación SOP (0,78).



Fuente: Flow

Figura 2-5: Histogramas de las series de evaporación de bandeja en estaciones utilizadas en este trabajo



Fuente: Flow

Figura 2-6: Gráficos de correlación entre la evaporación de bandeja de la estación Chaxa y las demás estaciones utilizadas en este trabajo



Fuente: Flow

Figura 2-7: Gráfico de barras mostrando los coeficientes de determinación (R^2) de Chaxa con el resto de las estaciones utilizadas

2.3 Metodología para el relleno

Las series de evaporación diaria incompletas se rellenaron con el objeto de completar el registro con que se reportan sus valores en los informes semestrales a la Autoridad. Este relleno se realizó utilizando un modelo de regresión lineal múltiple, que se considera apropiado dadas las características de las series según fueron descritas en la sección precedente. Para la regresión se utilizó la siguiente expresión (DICTUC – DGA, 2008):

$$Y_i^* = \alpha_i \cdot P1_i + \beta_i \cdot P2_i + \sqrt{1 - R^2} \cdot \varepsilon_i \cdot S_y \quad \text{Ecuación 1}$$

Siendo:

Y_i^* = dato de evaporación rellenado en el día i

$P1_i$ y $P2_i$ = evaporación en el día i en 2 estaciones cercanas o con características similares ($P1$ y $P2$)

α y β = parámetros de ponderación estimados mediante una regresión lineal, minimizando la suma de errores al cuadrado entre los valores registrados de la variable (Y_i) y los que se obtienen con la ecuación de relleno (Y_i^*).

El término adicional ($\sqrt{1 - R^2} \cdot \varepsilon_i \cdot S_y$) se agregó con objeto de evitar una distorsión de la varianza de la serie rellenada, siendo:

R^2 = coeficiente de determinación de la regresión múltiple

ε_i = variable aleatoria normal estándar

S_y = desviación típica de la serie original de evaporación en Chaxa

En ausencia de este término adicional, los valores rellenados se ubican todos alineados en la recta definida por los parámetros α y β , disminuyendo la varianza de la distribución de probabilidad de la variable Y .

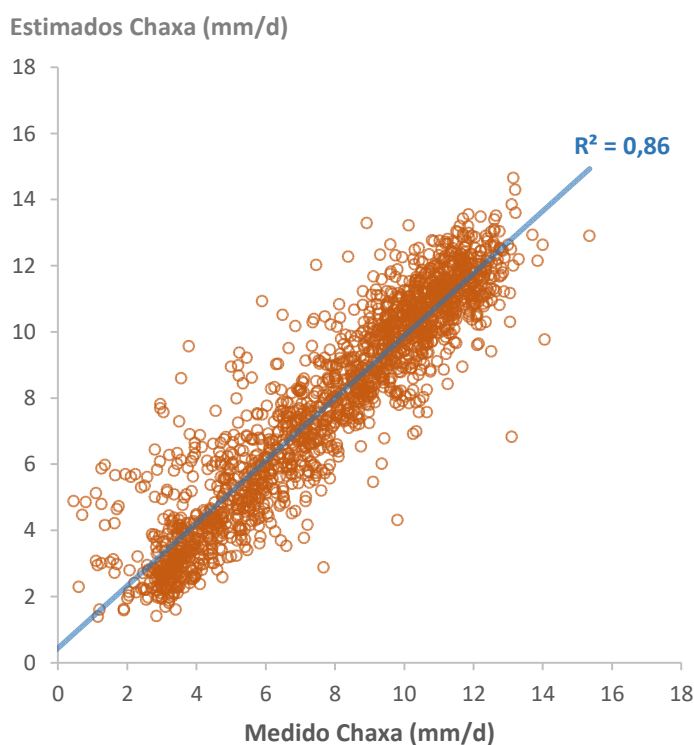
La selección de las estaciones patrón $P1$ y $P2$ utilizadas en el relleno se realizó en base a la disponibilidad de información, los coeficientes de correlación entre estaciones y a su ubicación geográfica. El coeficiente de correlación mínimo aceptado fue de 0,75 para un periodo de registro completo no inferior a 5 años.

3 RELLENO DE DATOS ESTACIÓN CHAXA

La aplicación de la metodología de relleno de datos consideró el uso de las estaciones KCL y SOP, dado que mantienen una mejor correlación histórica con la estación Chaxa a rellenar. Al utilizar los periodos con datos comunes, por mínimos cuadrados se obtuvieron los parámetros α y β de la Ecuación 1. En la Tabla 3-1 se resumen los parámetros obtenidos y la Figura 3-1 muestra la correlación que da como resultado el valor de R^2 de la regresión múltiple, entre valores medidos y estimados.

Tabla 3-1: Valores de los parámetros y estadísticos ajustados en la regresión para el relleno de Chaxa

Parámetro	Valor
Alfa (ponderador estación KCL)	0,534
Beta (ponderador estación SOP)	0,375
R^2 de la correlación múltiple	0,86
Desviación Estándar de la serie de evaporación de Chaxa	3,07



Fuente: Flow

Figura 3-1: Gráfico de correlación entre las series medida y estimada en base a las estaciones patrón (SOP y KCL)

El reemplazo de los parámetros en la Ecuación 1 queda expresada como sigue:

$$Y_i^* = 0,534 \cdot Ev.KCL_i + 0,375 \cdot Ev.SOP_i + 1,15 \cdot \varepsilon_i \quad \text{Ecuación 2}$$

La serie resultante de aplicar la Ecuación 2 se presenta en la Figura 3-2 en un periodo desde enero del año 2005 hasta mayo del año 2020, y en la Figura 3-3 en un periodo desde enero del año 2018 hasta mayo del año 2020. Las dos escalas permiten apreciar la similitud de los datos rellenados en relación a la serie histórica. Una verificación de esta similitud se ve en los estadísticos de datos medidos y estimados que se presenta en la Tabla 3-2. Las diferencias menores al 10% hablan de una correcta reproducción de las características, en las magnitudes y dispersión de la evaporación de tanque.

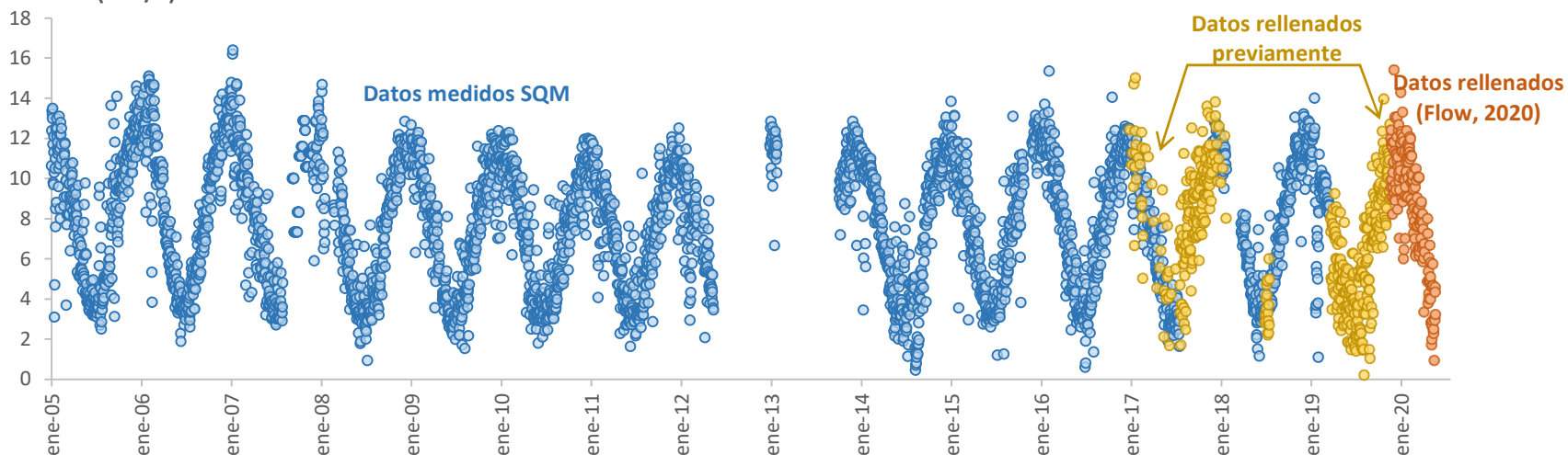
Tabla 3-2: Estadísticos de las series original y rellenada para comparar su similitud

	Periodo diciembre - mayo		
	Serie histórica sin relleno	Serie rellenada 2019 - 20	Diferencia
Promedio (mm/d)	8,8	8,59	2%
Desviación Estándar (mm/d)	2,87	2,94	-2%

Fuente: Flow

Un número de 14 días no pudieron ser rellenados, dado que las estaciones usadas como patrón para el relleno no disponían de datos (al menos una de las dos). El detalle de las fechas con ausencia de registros se presenta en el Anexo 3.

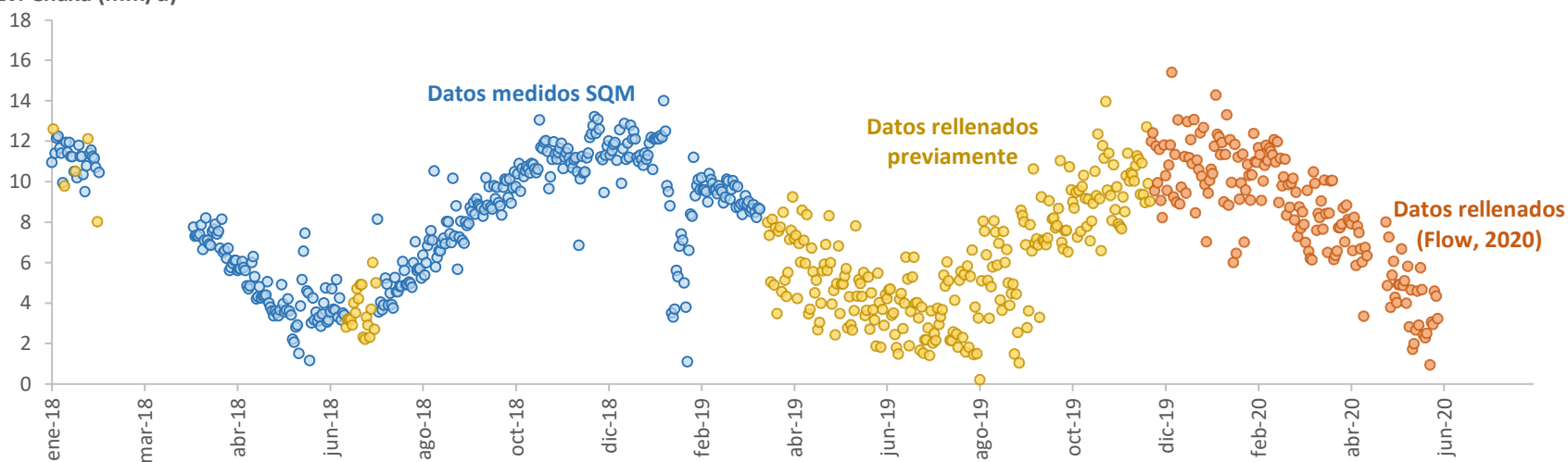
Ev. Chaxa (mm/d)



Fuente: Flow

Figura 3-2: Serie de tiempo de la evaporación de tanque en Chaxa, desde enero 2005 hasta mayo 2020, incluyendo datos medidos y rellenados

Ev. Chaxa (mm/d)



Fuente: Flow

Figura 3-3: Serie de tiempo de la evaporación de tanque en Chaxa, desde enero 2018 hasta mayo 2020, incluyendo datos medidos y rellenados

4 RESUMEN Y CONCLUSIONES

- La Gerencia de Medio Ambiente de SQM Salar solicitó a Flow el relleno de datos en un periodo de 5 meses de la estación Chaxa (diciembre 2019 a mayo 2020), para ser entregado como parte de la reportabilidad semestral a la Autoridad.
- A partir del requerimiento se evaluó la información disponible y se llevó a cabo un control de calidad (QA/QC), descartando los datos que la evidencia estadística indica como anómalos.
- Los datos filtrados fueron analizados estadísticamente, entendiendo su distribución y correlaciones, lo que permite aplicar una metodología basada en esta caracterización.
- La metodología consistió en un relleno por regresión lineal múltiple, que permite explicar la magnitud de la evaporación de bandeja en Chaxa a partir de la que se ha registrado en las estaciones KCL y SOP, ambas situadas dentro del Salar de Atacama y con una buena correlación (coeficiente de determinación, R^2 , mayor a 0,75).
- La aplicación de la metodología permitió rellenar los datos de Chaxa, arrojando valores estadísticos que dan cuenta de un correcto ajuste y apropiada representación de los valores históricos. En particular, el R^2 entre los datos medidos y los estimados fue de 86% (Figura 3-1), mientras que los promedios y la desviación estándar, históricos versus rellenados, para el periodo diciembre – mayo se mantuvo inferior al 10%. La comparación entre diciembre y mayo correspondió al periodo sobre el que se ejecutó el relleno en parte de los años 2019 y 2020.

REFERENCIAS

DICTUC – DGA, 2008. SIT N° 157. Levantamiento Hidrogeológico para el Desarrollo de Nuevas Fuentes de Agua en Áreas Prioritarias de la Zona Norte de Chile, Regiones XV, I, II Y III. Etapa 1 – Informe Final Parte III. Hidrología Regional del Altiplano de Chile.

WSP, 2018a. Relleno del Registro Diario de las Variables Meteorológicas en las Estación Chaxa para el 2017. Informe Código WSP-57500-INF-HID-0001.

WSP, 2018b. Relleno del Registro Diario de las Variables Meteorológicas en las Estaciones Chaxa y KCL para 2017 y 2018 – Etapa 2. Informe Código WSP-57500-INF-HID-0002.

Flow, 2019a. Relleno de datos de evaporación de bandeja para la estación Chaxa, meses de abril hasta julio de 2019. Informe Código FLOW-REP-HID-SQM-001C.

Flow, 2019b. Relleno de datos de evaporación de bandeja para la estación Chaxa, meses de agosto hasta noviembre de 2019. Informe Código FLOW-REP-HID-SQM-002C.

ANEXOS

ANEXO 1

**Archivo digital con Base de Datos de
evaporación de bandeja en estaciones utilizadas**

ANEXO 2

Datos descartados a partir del QA/QC
de la evaporación de bandeja

Tabla A2-1: Datos de evaporación de tanque filtrados como anómalos para el análisis

Estación	Fecha	Medición	Valor
Peine	10-01-1985	Evap (mm/d)	19,0
Peine	23-01-2017	Evap (mm/d)	0,0
SOP	29-06-2017	Evap (mm/d)	38,2
SOP	30-06-2017	Evap (mm/d)	24,8
SOP	08-07-2017	Evap (mm/d)	24,1
SOP	15-07-2017	Evap (mm/d)	21,8
SOP	21-08-2017	Evap (mm/d)	21,2
SOP	15-09-2017	Evap (mm/d)	23,6
Peine	30-01-2019	Evap (mm/d)	0,0
Peine	01-02-2019	Evap (mm/d)	0,0
Peine	02-02-2019	Evap (mm/d)	0,0
Peine	04-02-2019	Evap (mm/d)	0,0
Peine	01-06-2019	Evap (mm/d)	40,0
Peine	02-06-2019	Evap (mm/d)	35,0
Peine	03-06-2019	Evap (mm/d)	45,0
Peine	04-06-2019	Evap (mm/d)	45,0
Peine	05-06-2019	Evap (mm/d)	45,0
Peine	06-06-2019	Evap (mm/d)	50,0
Peine	07-06-2019	Evap (mm/d)	45,0
Peine	08-06-2019	Evap (mm/d)	45,0
Peine	09-06-2019	Evap (mm/d)	40,0
Peine	10-06-2019	Evap (mm/d)	50,0
Peine	11-06-2019	Evap (mm/d)	50,0
Peine	12-06-2019	Evap (mm/d)	45,0
Peine	13-06-2019	Evap (mm/d)	40,0
Peine	14-06-2019	Evap (mm/d)	35,0
Peine	15-06-2019	Evap (mm/d)	30,0
Peine	16-06-2019	Evap (mm/d)	40,0
Peine	17-06-2019	Evap (mm/d)	45,0
Peine	18-06-2019	Evap (mm/d)	40,0
Peine	19-06-2019	Evap (mm/d)	40,0

Estación	Fecha	Medición	Valor
Peine	20-06-2019	Evap (mm/d)	40,0
Peine	21-06-2019	Evap (mm/d)	50,0
Peine	23-06-2019	Evap (mm/d)	50,0
Peine	24-06-2019	Evap (mm/d)	50,0
Peine	25-06-2019	Evap (mm/d)	30,0
Peine	26-06-2019	Evap (mm/d)	40,0
Peine	27-06-2019	Evap (mm/d)	35,0
Peine	28-06-2019	Evap (mm/d)	35,0
Peine	29-06-2019	Evap (mm/d)	35,0
Peine	28-02-2020	Evap (mm/d)	19,0
Peine	09-03-2020	Evap (mm/d)	0,0
Peine	10-03-2020	Evap (mm/d)	0,0
SOP	17-04-2020	Evap (mm/d)	24,2
SOP	18-04-2020	Evap (mm/d)	26,1
SOP	19-04-2020	Evap (mm/d)	20,6
SOP	20-04-2020	Evap (mm/d)	12,5
SOP	21-04-2020	Evap (mm/d)	11,3
SOP	22-04-2020	Evap (mm/d)	13,3
SOP	23-04-2020	Evap (mm/d)	21,1
SOP	24-04-2020	Evap (mm/d)	16,6
SOP	25-04-2020	Evap (mm/d)	11,7
SOP	26-04-2020	Evap (mm/d)	17,2
SOP	27-04-2020	Evap (mm/d)	10,3
SOP	25-05-2020	Evap (mm/d)	21,4

ANEXO 3

**Datos rellenos para la estación Chaxa
en el periodo diciembre de 2019 – mayo de 2020**

Fecha	Ev. Bandeja (mm/d)
01-12-2019	11,99
02-12-2019	12,42
03-12-2019	9,55
04-12-2019	11,75
05-12-2019	9,94
06-12-2019	11,59
07-12-2019	9,07
08-12-2019	8,22
09-12-2019	11,82
10-12-2019	10,29
11-12-2019	9,56
12-12-2019	10,82
13-12-2019	11,81
14-12-2019	15,41
15-12-2019	9,24
16-12-2019	11,35
17-12-2019	8,98
18-12-2019	13,06
19-12-2019	8,90
20-12-2019	9,72
22-12-2019	11,25
23-12-2019	9,43
25-12-2019	11,18
26-12-2019	12,08
27-12-2019	10,89
28-12-2019	13,07
29-12-2019	8,46
30-12-2019	11,07
31-12-2019	10,60
01-01-2020	12,41
02-01-2020	10,27
03-01-2020	12,67
04-01-2020	9,85

Fecha	Ev. Bandeja (mm/d)
05-01-2020	7,03
06-01-2020	9,44
07-01-2020	10,06
08-01-2020	10,62
09-01-2020	10,40
10-01-2020	11,76
11-01-2020	14,28
12-01-2020	12,34
13-01-2020	12,21
14-01-2020	11,33
15-01-2020	11,93
16-01-2020	8,99
17-01-2020	11,35
18-01-2020	13,30
19-01-2020	8,84
20-01-2020	12,08
21-01-2020	9,96
22-01-2020	6,00
23-01-2020	11,85
24-01-2020	6,45
25-01-2020	11,22
26-01-2020	9,13
27-01-2020	9,93
28-01-2020	11,36
29-01-2020	7,01
30-01-2020	9,58
31-01-2020	10,85
01-02-2020	10,31
02-02-2020	9,09
03-02-2020	10,34
04-02-2020	12,38
05-02-2020	11,00
06-02-2020	10,95
07-02-2020	11,68

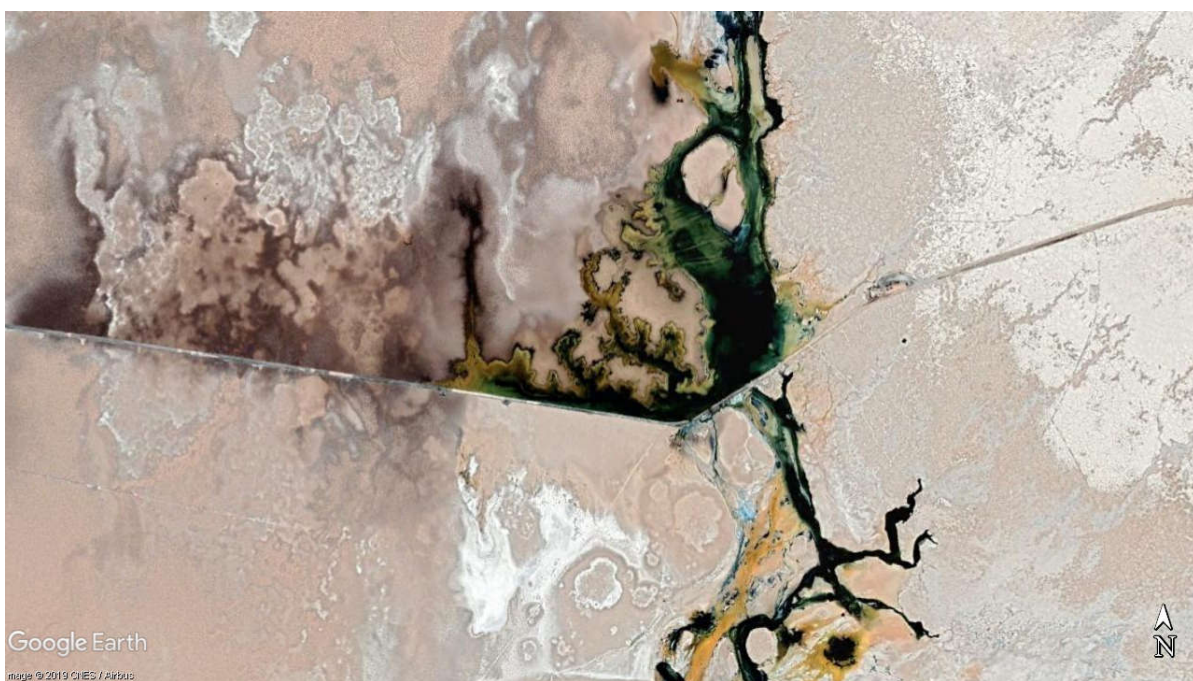
Fecha	Ev. Bandeja (mm/d)
08-02-2020	11,33
09-02-2020	9,07
10-02-2020	10,03
11-02-2020	10,81
12-02-2020	11,80
13-02-2020	11,04
14-02-2020	11,65
15-02-2020	11,51
16-02-2020	11,32
17-02-2020	12,08
18-02-2020	10,97
19-02-2020	11,98
20-02-2020	8,96
21-02-2020	11,16
22-02-2020	9,80
23-02-2020	10,24
24-02-2020	11,11
25-02-2020	8,34
26-02-2020	9,86
27-02-2020	8,73
28-02-2020	9,93
29-02-2020	10,17
01-03-2020	8,11
02-03-2020	9,47
03-03-2020	7,28
04-03-2020	8,74
05-03-2020	7,70
06-03-2020	8,50
07-03-2020	7,88
08-03-2020	7,00
09-03-2020	9,57
10-03-2020	6,55
11-03-2020	6,21
12-03-2020	6,13

Fecha	Ev. Bandeja (mm/d)
13-03-2020	10,48
14-03-2020	9,92
15-03-2020	7,60
16-03-2020	8,42
17-03-2020	8,22
18-03-2020	9,04
19-03-2020	7,65
20-03-2020	10,08
21-03-2020	8,41
22-03-2020	6,50
23-03-2020	8,44
24-03-2020	10,03
25-03-2020	10,06
26-03-2020	6,14
27-03-2020	6,35
28-03-2020	6,57
29-03-2020	7,73
30-03-2020	7,72
31-03-2020	7,90
01-04-2020	8,70
02-04-2020	7,02
03-04-2020	8,84
04-04-2020	8,13
05-04-2020	8,01
06-04-2020	7,92
07-04-2020	6,59
08-04-2020	8,23
09-04-2020	5,85
10-04-2020	7,80
11-04-2020	7,48
12-04-2020	6,68
13-04-2020	6,03
14-04-2020	3,34
15-04-2020	6,75

Fecha	Ev. Bandeja (mm/d)
16-04-2020	6,33
28-04-2020	8,00
29-04-2020	4,86
30-04-2020	7,26
01-05-2020	3,78
02-05-2020	5,37
03-05-2020	6,06
04-05-2020	4,28
05-05-2020	4,02
06-05-2020	4,91
07-05-2020	4,91
08-05-2020	6,68
09-05-2020	4,86
10-05-2020	5,09
11-05-2020	3,99
12-05-2020	5,81
13-05-2020	2,82
14-05-2020	4,64
15-05-2020	1,70
16-05-2020	1,99
17-05-2020	2,65
18-05-2020	4,59
19-05-2020	2,90
20-05-2020	5,74
21-05-2020	4,65
22-05-2020	2,41
23-05-2020	2,27
24-05-2020	2,50
26-05-2020	0,93
27-05-2020	3,05
28-05-2020	2,94
29-05-2020	4,59
30-05-2020	4,34
31-05-2020	3,23
31-05-2020	3,23

**Fechas en que no fue posible rellenar por ausencia de registros en las estaciones patrón
(mantención de estaciones, problemas de calibración).**

Fecha completa
21-12-2019
24-12-2019
17-04-2020
18-04-2020
19-04-2020
20-04-2020
21-04-2020
22-04-2020
23-04-2020
24-04-2020
25-04-2020
26-04-2020
27-04-2020
25-05-2020



Título del documento:	Relleno del registro de la estación Chaxa, periodo entre el 27 de abril 2020 y el 30 de junio 2020
Tipo de documento:	Reporte Técnico
Código del documento	FLOW-SQM007-REP-HID-002C
Enviado a:	Ximena Aravena – Jefe de Medio Ambiente, SQM Salar S.A.
Empresa:	SQM Salar S.A.
Fecha	31 de agosto de 2020

TABLA DE CONTENIDOS

1	INTRODUCCIÓN	3
2	ANÁLISIS DE INFORMACIÓN Y ASPECTOS METODOLÓGICOS.....	5
2.1	Revisión de la información disponible y control de calidad (QA/QC)	5
2.2	Análisis estadístico y correlaciones de datos	24
2.3	Metodología para el relleno	35
3	RELLENO DE DATOS ESTACIÓN CHAXA.....	39
3.1	Regresión lineal múltiple	39
3.2	Serie sintética	49
3.3	Relleno valores nulos.....	52
3.4	Repetición observaciones previas	54
4	RESUMEN Y CONCLUSIONES.....	56
5	REFERENCIAS	57
	ANEXO 1	59
	ANEXO 2	60

1 INTRODUCCIÓN

La Gerencia de Medio Ambiente de SQM Salar ha solicitado a **Flow** el apoyo técnico para rellenar las series de precipitación, humedad relativa, velocidad del viento, dirección del viento, presión atmosférica y temperatura del aire de la estación meteorológica Chaxa (6 series en total), para el periodo sin información comprendido entre el 27 de abril de 2020 y el 30 de junio de 2020. El relleno se realizó empleando técnicas estadísticas frecuentemente utilizadas en el tratamiento de datos hidrometeorológicos. Cabe mencionar que las series meteorológicas son necesarias para los reportes a la Autoridad, en el marco de los compromisos ambientales que mantiene SQM Salar como Titular de sus proyectos de extracción de salmuera.

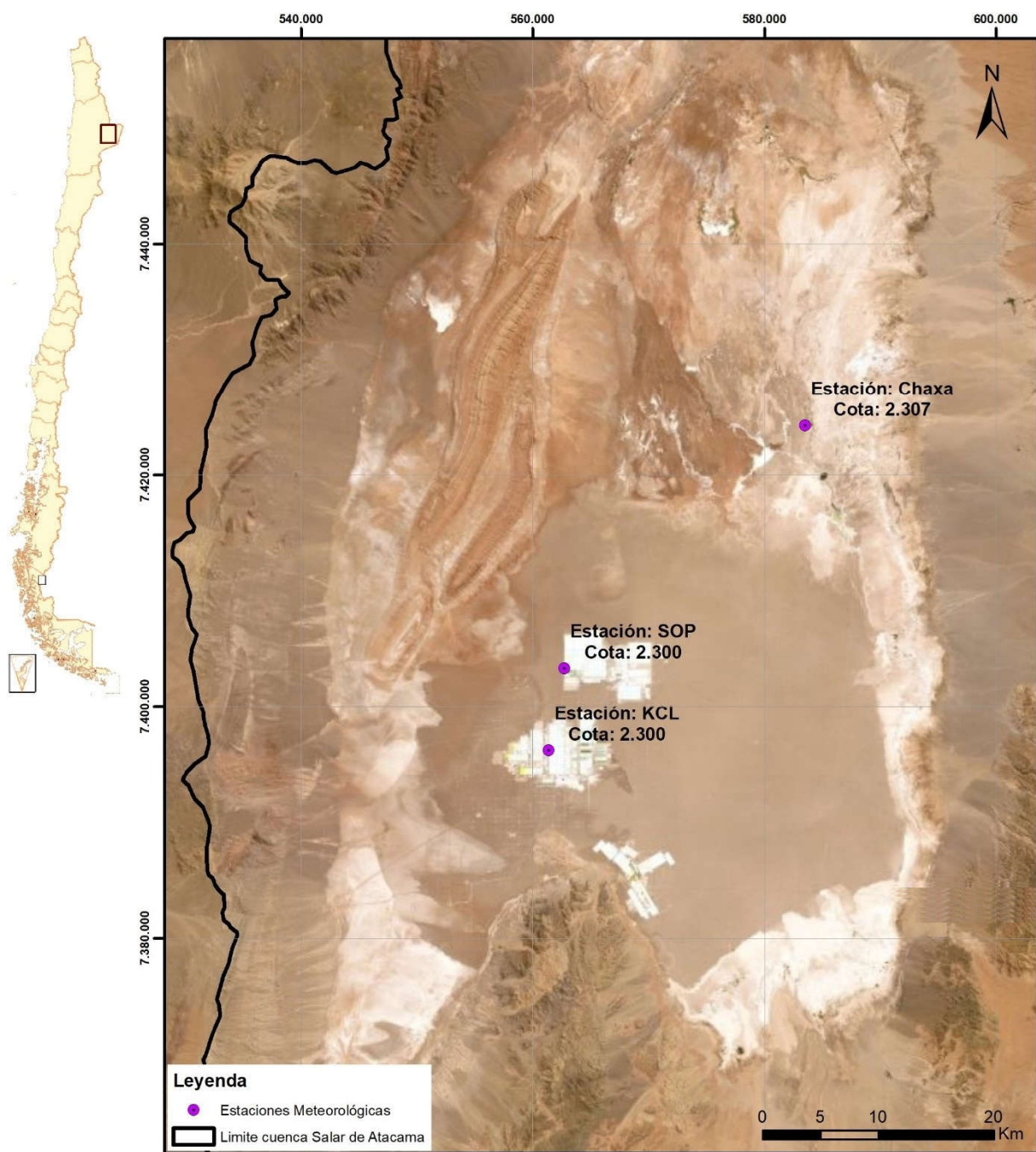
El **objetivo** de este documento es presentar los resultados del relleno realizado a los datos meteorológicos, respaldando además la metodología y el análisis realizado.

El **alcance** del trabajo consideró el desarrollo de las siguientes actividades:

1. **Revisión de los datos y control de calidad (QA/QC).** Los registros entregados de la estación Chaxa con datos faltantes y los de las estaciones vecinas fueron revisados para reconocer los vacíos de información y la disponibilidad general de datos. Se evaluó la correlación y aleatoriedad, según lo que se definieron las estaciones para realizar el relleno.
2. **Relleno de las series meteorológicas.** Se aplicó la metodología de estudios previos (Flow, 2020), así como nuevas metodologías para rellenar los datos faltantes de la estación Chaxa, incluyendo un reporte de los parámetros ajustados y la visualización gráfica del resultado.
3. **Reportabilidad y entrega.** Corresponde a este documento, que contiene la información necesaria para respaldar la metodología y los resultados obtenidos.

La ubicación de las estaciones meteorológicas que han sido utilizadas en este estudio se presenta en la Figura 1-1. Además de Chaxa, se usaron las estaciones SOP y KCL (propiedad de SQM).

Este informe está estructurado en 4 capítulos, además de las Referencias y Anexos. A continuación de esta introducción se desarrolla el Capítulo 2, que describe el análisis de la información de entrada, la frecuencia y rango de fechas en que se distribuye, así como el control de calidad que se ejecuta. Posteriormente, el Capítulo 3 presenta los resultados obtenidos de aplicar la metodología estadística de relleno y el Capítulo 4 contiene el resumen y las conclusiones del trabajo, con los aspectos más importantes de este reporte.



Fuente: Flow

Figura 1-1. Ubicación de estaciones usadas para el estudio del relleno de series meteorológicas en Chaxa (cota en msnm)

2 ANÁLISIS DE INFORMACIÓN Y ASPECTOS METODOLÓGICOS

Para abordar los alcances definidos en el Capítulo anterior, se desarrollaron 3 actividades que se describen en este Capítulo 2:

- Revisión de la información disponible y control de calidad (QA/QC).
- Análisis estadístico y correlaciones de datos.
- Metodología para el relleno.

2.1 Revisión de la información disponible y control de calidad (QA/QC)

La información que se dispuso para este estudio varía según cada estación meteorológica. Las fechas de inicio y fin de datos se resumen en la Tabla 2-1, mientras que el detalle se presenta gráficamente desde la Figura 2-1 hasta la Figura 2-6, abarcando desde agosto de 1999 hasta junio del 2020.

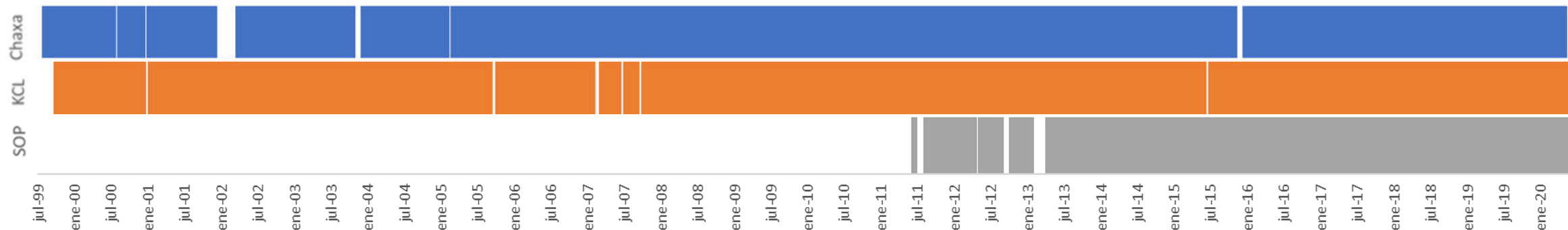
El registro meteorológico de SQM fue proporcionada a nivel diario, excepto la variable dirección del viento, que fue proporcionada a nivel horario.

Tabla 2-1: Coordenadas de estaciones y disponibilidad de las series de estaciones utilizadas

	Chaxa	KCL	SOP
UTM Este (m)	583.500	561.354	562.717
UTM Norte (m)	7.424.261	7.396.247	7.403.324
Cota (msnm)	2.307	2.300	2.300
Periodo temperatura del aire promedio	01/08/99 - 26/04/20	20/09/99 - 30/06/20	01/06/11 - 30/06/20
Periodo humedad relativa promedio	01/08/99 - 26/04/20	01/01/01 - 30/06/20	01/06/11 - 30/06/20
Periodo velocidad del viento promedio	01/08/99 - 26/04/20	20/09/99 - 30/06/20	01/06/11 - 30/06/20
Periodo dirección del viento promedio	01/04/18 - 26/04/20	01/01/18 - 30/06/20	01/01/18 - 30/06/20
Periodo presión atmosférica promedio	01/01/12 - 26/04/20	01/01/07 - 30/06/20*	01/06/11 - 30/06/20*
Periodo precipitación acumulada	01/08/99 - 26/04/20	20/09/99 - 30/06/20	01/06/11 - 30/06/20

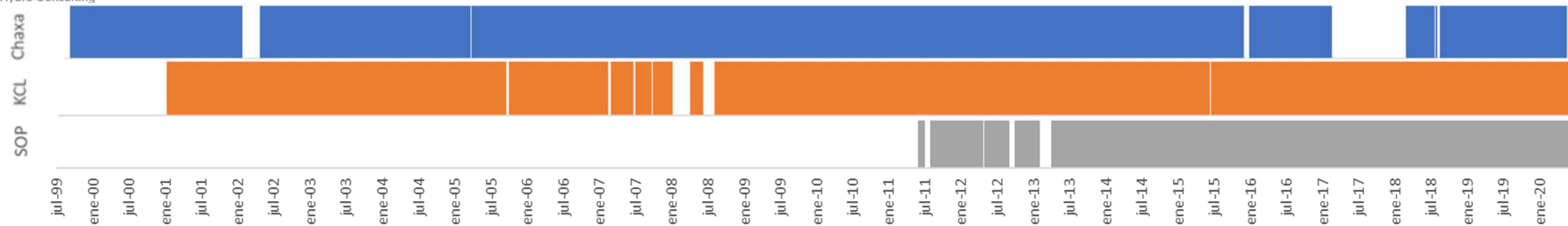
*Presión atmosférica diaria máxima

Fuente: Elaboración propia



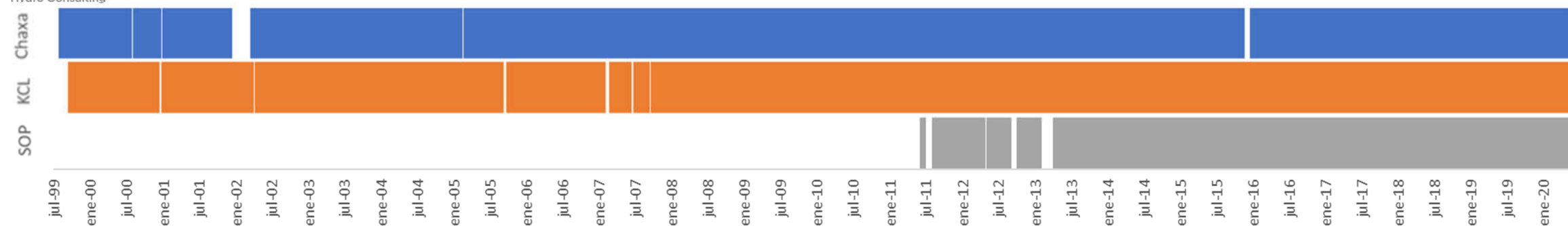
Fuente: Flow

Figura 2-1: Diagrama de barras que presenta la disponibilidad de información de temperatura del aire a escala diaria en las estaciones revisadas en este trabajo



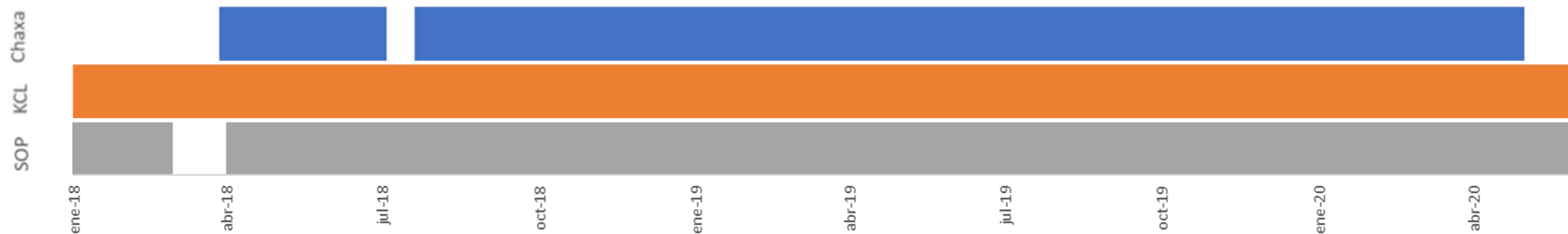
Fuente: Flow

Figura 2-2: Diagrama de barras que presenta la disponibilidad de información de humedad relativa a escala diaria en las estaciones revisadas en este trabajo



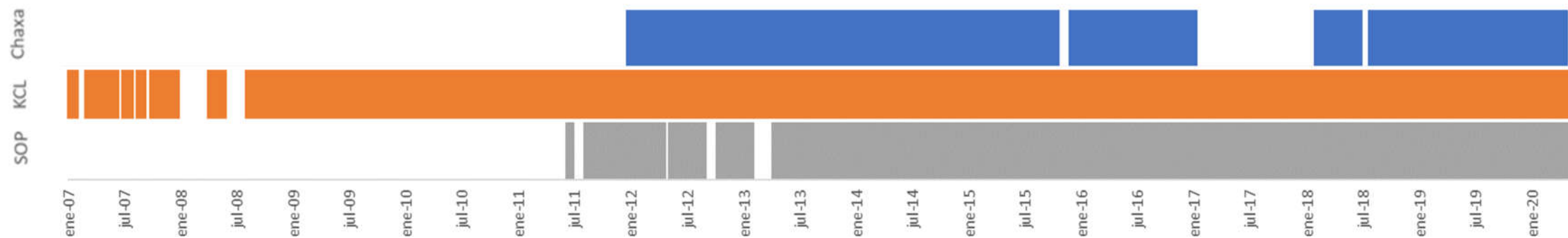
Fuente: Flow

Figura 2-3: Diagrama de barras que presenta la disponibilidad de información de velocidad del viento a escala diaria en las estaciones revisadas en este trabajo



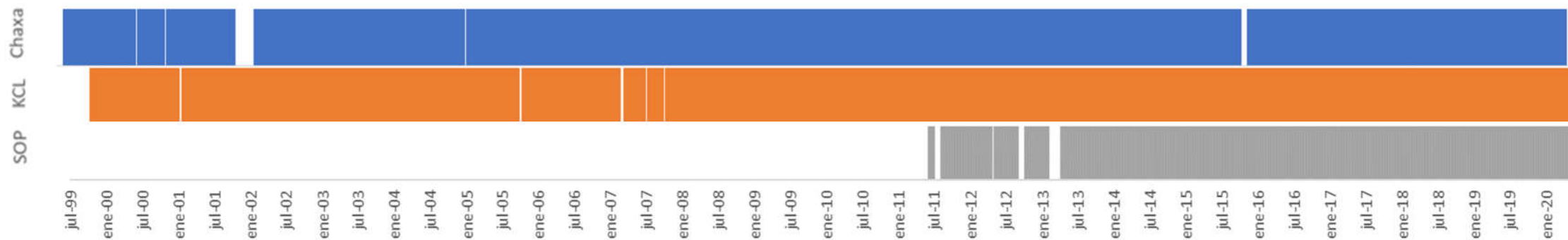
Fuente: Flow

Figura 2-4: Diagrama de barras que presenta la disponibilidad de información de dirección del viento a escala diaria en las estaciones revisadas en este trabajo



Fuente: Flow

Figura 2-5: Diagrama de barras que presenta la disponibilidad de información de presión atmosférica a escala diaria en las estaciones revisadas en este trabajo



Fuente: Flow

Figura 2-6: Diagrama de barras que presenta la disponibilidad de información de precipitación a escala diaria en las estaciones revisadas en este trabajo

La Base de Datos se entrega como Anexo digital de este documento (Anexo I) y fue utilizada para el análisis aquí presentado. Respecto a la fecha de inicio de las estaciones, se observó que la estación SOP (o MOP II), dispone de datos a partir de junio de 2011, lo que la hace la más reciente. A pesar de esto, muestra 9 años de información casi continua hasta junio de 2020. Otro dato de interés se observó en las estaciones Chaxa y KCL; las variables temperatura del aire, humedad relativa, velocidad del viento y precipitación empezaron a registrarse junto a la instalación de las estaciones, a excepción de la variable presión atmosférica inició en el año 2007. Para las tres estaciones, se dispone de registro de dirección del viento desde 2018.

El control de calidad (QA/QC) de los datos se realizó a través de dos pasos. En primer lugar, se validaron los datos a través del rango del sensor de cada variable, obtenido de los manuales técnicos de los instrumentos y, en segundo lugar, a través de los deciles y cuartiles de las series, para identificar datos atípicos que pueden ser catalogados como no válidos para el análisis. La Tabla 2-2 muestra el rango válido de cada sensor por variable.

Tabla 2-2. Rango sensor por variable

	Rango	Unidad de medida	Marca – modelo sensor*
Temperatura del aire	-39,2 – 60	°C	Campbell HMP45C
Humedad relativa	0,8 – 100	%	Campbell HMP45C
Velocidad del viento	0 – 100	m/s	Young 05103 (05106)
Dirección del viento	0 – 360	°	Young 05103 (05106)
Presión Atmosférica	500 – 1000	mbar	Vaisala PTB101B
Precipitación	0 – 700	mm/h	Texas TR525

*Las tres estaciones cuentan con el mismo equipamiento.

Fuente: Elaboración propia

Las seis variables analizadas en las tres estaciones meteorológicas presentaron valores dentro de los rangos indicado en los manuales de cada sensor. Sin embargo, como se ve a continuación en el segundo paso, si bien las mediciones se encontraban dentro del rango, se identificaron observaciones atípicas en algunas variables.

Una observación atípica está asociada a:

- Errores de lectura.
- Valores extremos.
- Causas no conocidas.

En el presente documento se utilizará el test de Tukey (Tukey, J. 1977) para catalogar si una observación es o no atípica. Para cada estación y por cada variable se definió basado en los datos de las series meteorológicas, un límite superior e inferior, que catalogan como atípico un dato si se encuentra fuera de estos límites. Matemáticamente se expresa según Ecuación 1:

$$Z_3 - \alpha_{v,e} \cdot RI \leq X_{v,e,t} \leq Z_1 + \alpha_{v,e} \cdot RI \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde

Z_1 : percentil 75% o percentil 90%, según corresponda por variable.

Z_2 : percentil 50% (mediana).

Z_3 : percentil 25% o percentil 10%, según corresponda por variable.

$RI = Z_1 - Z_3$ (rango interpercentil).

$\alpha_{v,e}$: ajuste de percentil igual a 1,5 (atípicos) y 3,0 (extremadamente atípicos) según el comportamiento de la variable.

$X_{v,e,t}$: dato por variable y estación, para el tiempo t.

Se define, además:

$Ext\ inf = Z_3 - \alpha_{v,e} \cdot RI$ (extremo inferior).

$Ext\ sup = Z_1 + \alpha_{v,e} \cdot RI$ (extremo superior).

Una vez identificado los datos como atípicos, Flow dará las razones de por qué debe ser considerados o excluido estos datos para los análisis.

Para la variable **temperatura del aire** se obtuvieron los parámetros de la Tabla 2-3. Del registro se etiquetaron 3 datos de la estación KCL como atípicos, dado que se ubican fuera del límite calculado, sin embargo, se observa que corresponde a los mínimos de la serie y serán considerados en el análisis.

Tabla 2-3. Parámetros de serie de temperatura del aire (°C)

	Chaxa	KCL	SOP
Mínimo [°C]	0,74	2,71	3,11
Z ₃ (P = 25%) [°C]	10,68	13,03	12,69
Z ₂ (P = 50%) [°C]	14,90	17,04	16,92
Z ₁ (P = 75%) [°C]	18,28	19,54	19,43
Máximo [°C]	25,16	26,92	25,98
RI [°C]	7,60	6,51	6,74
Ext sup ($\alpha = 1,5$) [°C]	29,68	29,31	29,53
Ext inf ($\alpha = 1,5$) [°C]	-0,72	3,27	2,59
N° datos atípicos	0	3	0

Para la **humedad relativa** (%) se obtuvieron los parámetros de la Tabla 2-4. Respecto al extremo superior, se consideró un valor de α de 3,0, que permitió incorporar una gran cantidad de valores atípicos que quedaban fuera si se aplicase un α menor (igual de 1,5). Mientras que, para el extremo inferior, se ajustó al límite dado por el instrumento (Tabla 2-2) ya que es el límite físicamente posible de la variable. Según los resultados, todos los datos han sido catalogados como validados.

Tabla 2-4: Parámetros de serie de humedad relativa (%)

	Chaxa	KCL	SOP
Mínimo [%]	6,44	0,03	5,66
Z ₃ (P = 10%) [%]	12,14	10,83	10,67
Z ₂ (P = 50%) [%]	18,69	16,95	16,52
Z ₁ (P = 90%) [%]	32,01	31,50	30,52
Máximo [%]	79,35	76,78	75,21
RI [%]	19,87	20,67	19,86
Ext sup ($\alpha = 3,0$) [%]	91,64	93,52	90,09
Ext inf ($\alpha = 3,0$) [%]	-47,48*	-51,19*	-48,90*
N° datos atípicos	0	0	0

*Límite físico igual a 0%

Para la **velocidad del viento** (m/s) se obtuvieron los parámetros de la Tabla 2-5. Respecto al extremo superior, se consideró un valor de α de 3,0, que permitió incorporar una gran cantidad de valores atípicos que quedaban fuera si se aplicase un α menor (igual de 1,5). Mientras que, para el extremo inferior, se ajustó al límite dado por el instrumento (Tabla 2-2) ya que es el límite físicamente posible de la variable. Del registro se etiquetó 1 dato de la estación Chaxa como atípico, dado que se ubicó fuera del límite calculado, sin embargo, se observa que corresponde a un mínimo de la serie y será considerado en el análisis.

Tabla 2-5: Parámetros de serie de velocidad del viento (m/s)

	Chaxa	KCL	SOP
Mínimo [m/s]	0,85	0,09	0,76
Z ₃ (P = 10%) [m/s]	1,61	1,85	1,81
Z ₂ (P = 50%) [m/s]	2,79	3,77	3,72
Z ₁ (P = 90%) [m/s]	3,67	5,26	5,01
Máximo [m/s]	10,78	11,70	8,88
RI [m/s]	2,06	3,41	3,20
Ext sup ($\alpha = 3,0$) [m/s]	9,85	15,49	14,61
Ext inf ($\alpha = 3,0$) [m/s]	-4,57*	-8,38*	-7,79*
N° datos atípicos	1	0	0

*Límite físico igual a 0 m/s

Para la **dirección del viento** (°) se obtuvieron los parámetros de la Tabla 2-6. Dado que los extremos calculados son mayores a los definidos por el rango del sensor, se mantienen los del sensor (0° – 360°).

Tabla 2-6: Parámetros de serie de dirección del viento (°)

	Chaxa	KCL	SOP
Mínimo [°]	0,01	0	0,05
Z ₃ (P = 25%) [°]	60,85	163,70	103,68
Z ₂ (P = 50%) [°]	151,07	260,14	222,05
Z ₁ (P = 75%) [°]	251,64	312,83	260,90
Máximo [°]	359,99	359,98	359,73
RI [°]	190,79	149,13	157,22
Ext sup ($\alpha = 1,5$) [°]	537,82*	536,52*	496,72*
Ext inf ($\alpha = 1,5$) [°]	-225,33*	-59,99*	-132,14*
N° datos atípicos	0	0	0

*Límite del sensor 0° – 360°

Para la **presión atmosférica** (mbar) se obtuvieron los parámetros de la Tabla 2-7. Se observa una gran cantidad de datos atípicos en las estaciones KCL y SOP que no corresponden a valores extremos, por lo que serán considerados como no validados y no incluido en los análisis.

Tabla 2-7: Parámetros de serie de presión atmosférica (mbar)

	Chaxa	KCL	SOP
Mínimo [mbar]	772,93	612,90	773,30
Z₃ (P = 10%) [mbar]	773,87	775,30	775,90
Z₂ (P = 50%) [mbar]	774,77	779,67	778,30
Z₁ (P = 90%) [mbar]	775,72	782,90	787,50
Máximo [mbar]	777,27	787,30	888,00
RI [mbar]	1,85	7,60	11,60
Ext sup ($\alpha = 1, 5$) [mbar]	778,50	794,30	804,90
Ext inf ($\alpha = 1, 5$) [mbar]	771,09	763,90	758,50
N° datos atípicos	0	3585	2032

Para la variable **precipitación** (mm) se obtuvieron los parámetros de la Tabla 2-8. La variable se encuentra altamente concentrada en torno al valor cero o nulo en todas las estaciones. Todos los datos son validados.

Tabla 2-8: Parámetros de serie de precipitación (mm)

	Chaxa	KCL	SOP
Mínimo [mm]	0	0	0
Z₃ (P = 10%) [mm]	0	0	0
Z₂ (P = 50%) [mm]	0	0	0
Z₁ (P = 90%) [mm]	0	0	0
Máximo [mm]	32,30	20,80	22,70
RI [mm]	0	0	0
Ext sup ($\alpha = 1, 5$) [mm]	0	0	0
Ext inf ($\alpha = 1, 5$) [mm]	0	0	0
N° datos no validados	0	0	0

A continuación, se detallan las series meteorológicas por estación, identificando dentro de cada gráfico los datos atípicos identificados (Figura 2-7 a Figura 2-12). Como se explicó previamente, sólo los registros de presión atmosférica serán catalogados como no validados y se excluirán de los análisis posteriores.

Según Figura 2-7 a Figura 2-12, se observa que las variables temperatura del aire, humedad relativa y velocidad del viento presentan un marcado componente estacional (comportamiento sinusoidal). La variable dirección del viento es altamente aleatoria dentro de su rango (0° - 360°) mostrando un comportamiento en la estación KCL durante el año 2019 que no se observó en las otras estaciones; la presión atmosférica presenta un comportamiento que varía según estaciones y, por último, la precipitación se presenta a través de eventos puntuales con alta variabilidad espacial y temporal.

En el Anexo 1 se detallan los datos que han sido identificados como validados y atípicos.

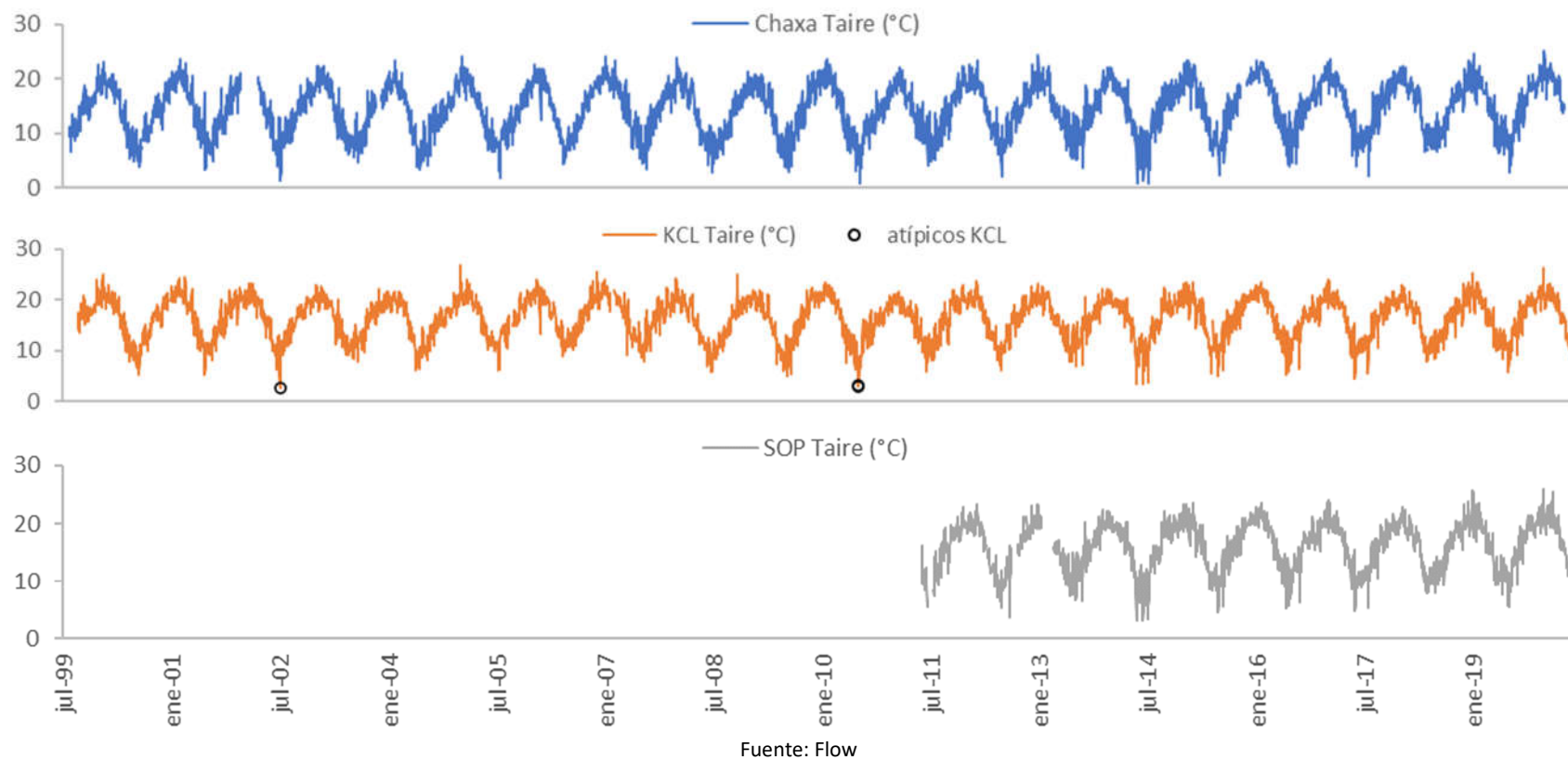


Figura 2-7: Series de tiempo de temperatura del aire sin rellenar, para las estaciones utilizadas en este trabajo (años 1999 a 2020)

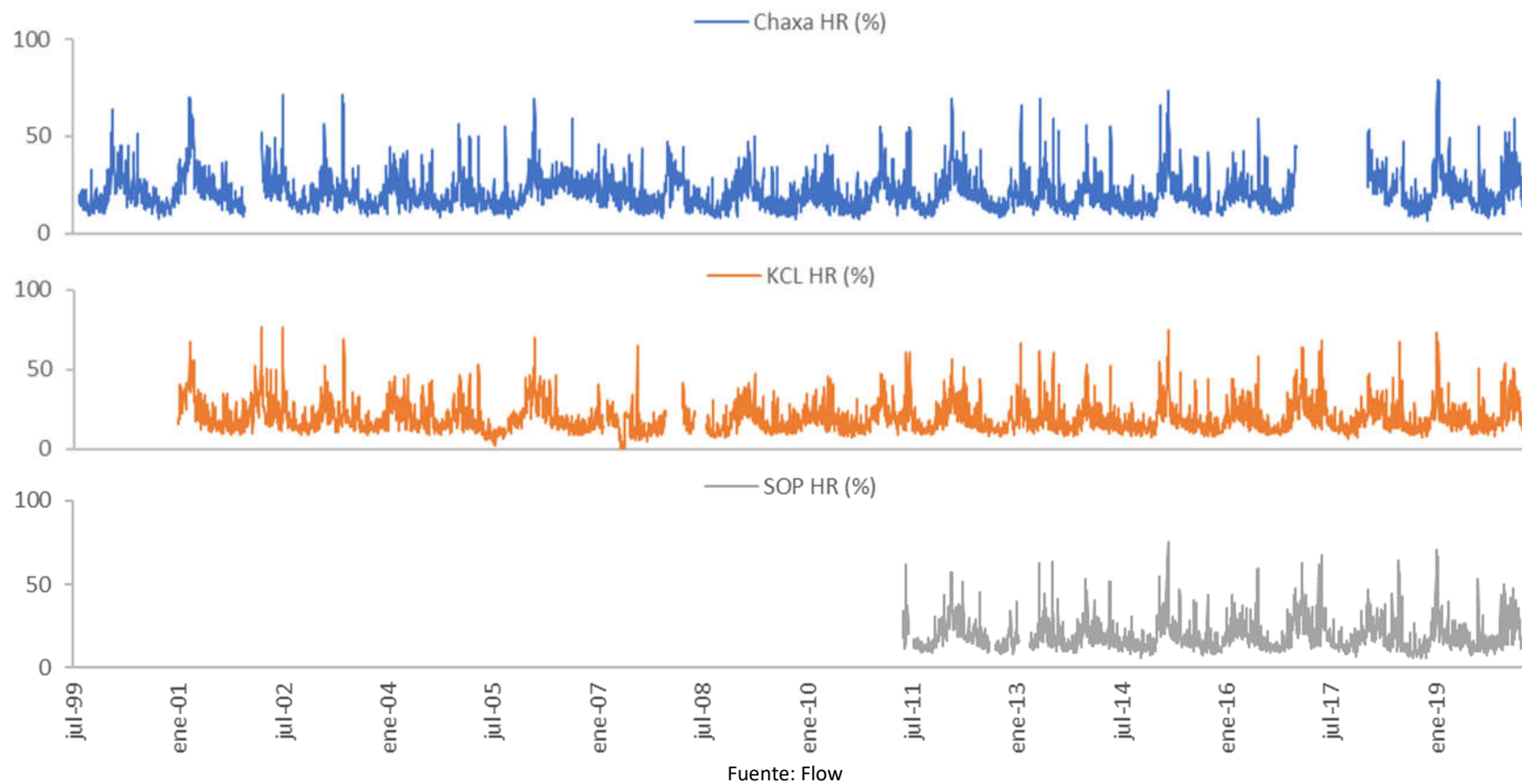


Figura 2-8: Series de tiempo de humedad relativa sin rellenar, para las estaciones utilizadas en este trabajo (años 1999 a 2020)

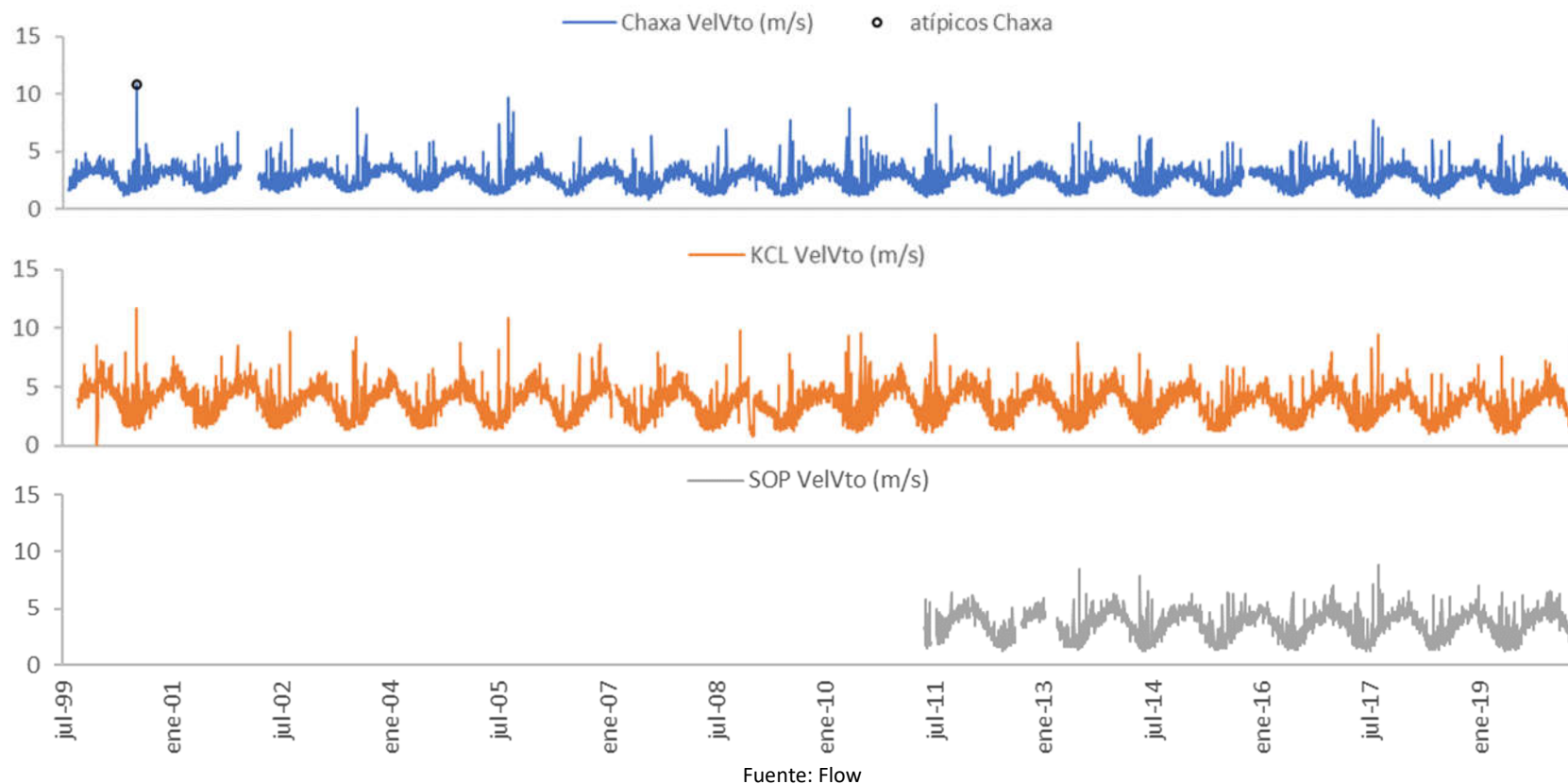
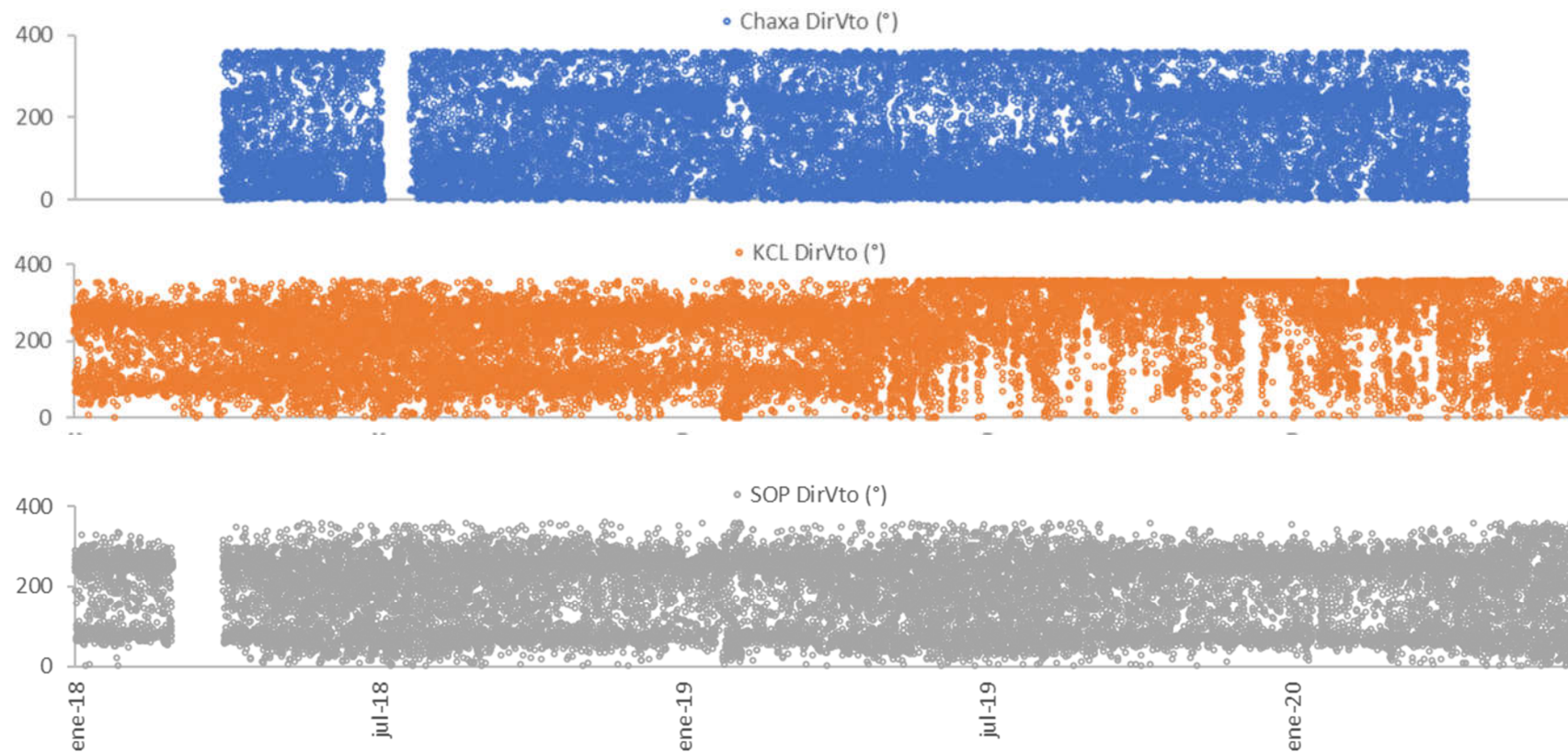
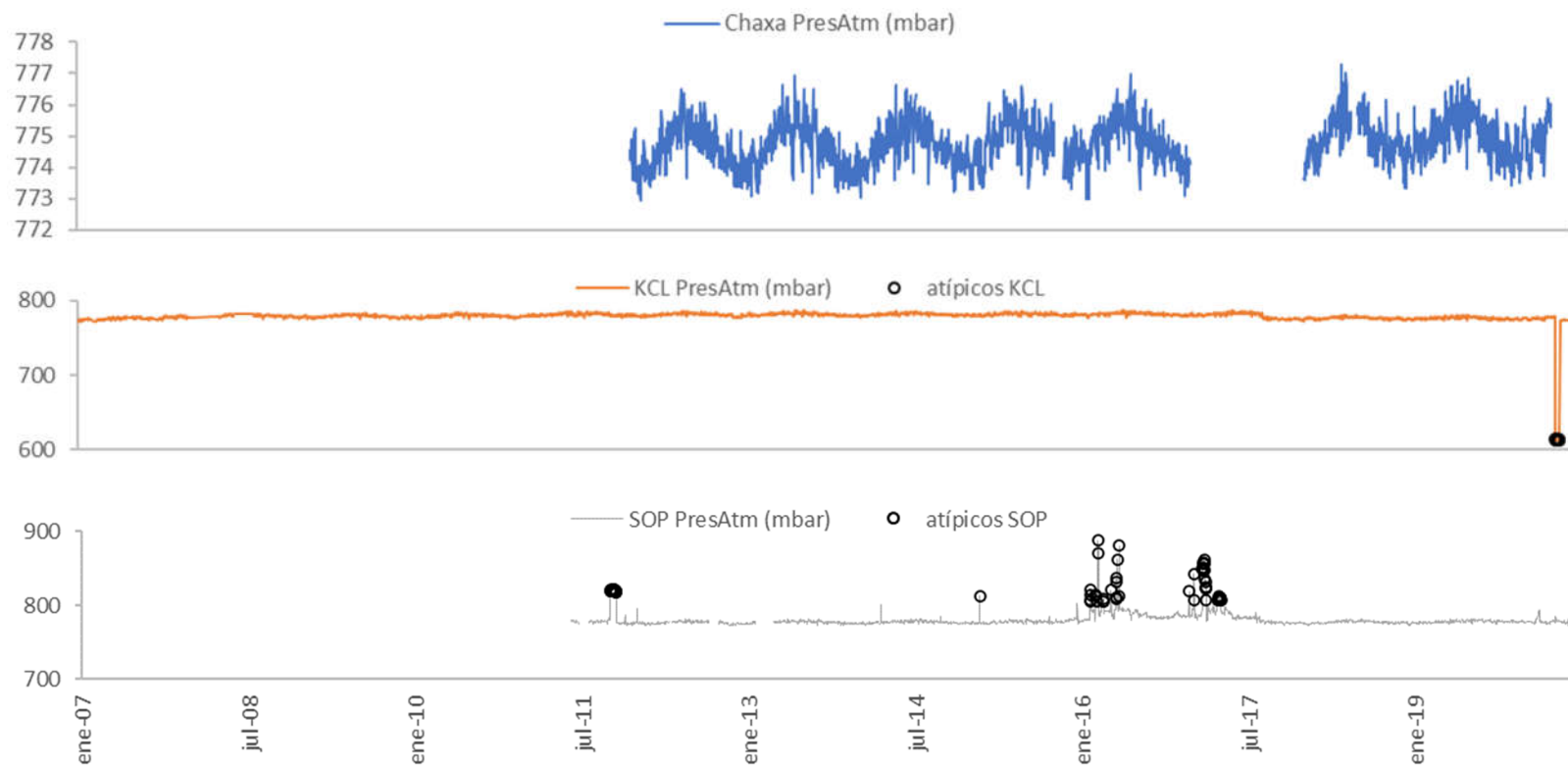


Figura 2-9: Series de tiempo de velocidad del viento sin rellenar, para las estaciones utilizadas en este trabajo (años 1999 a 2020)



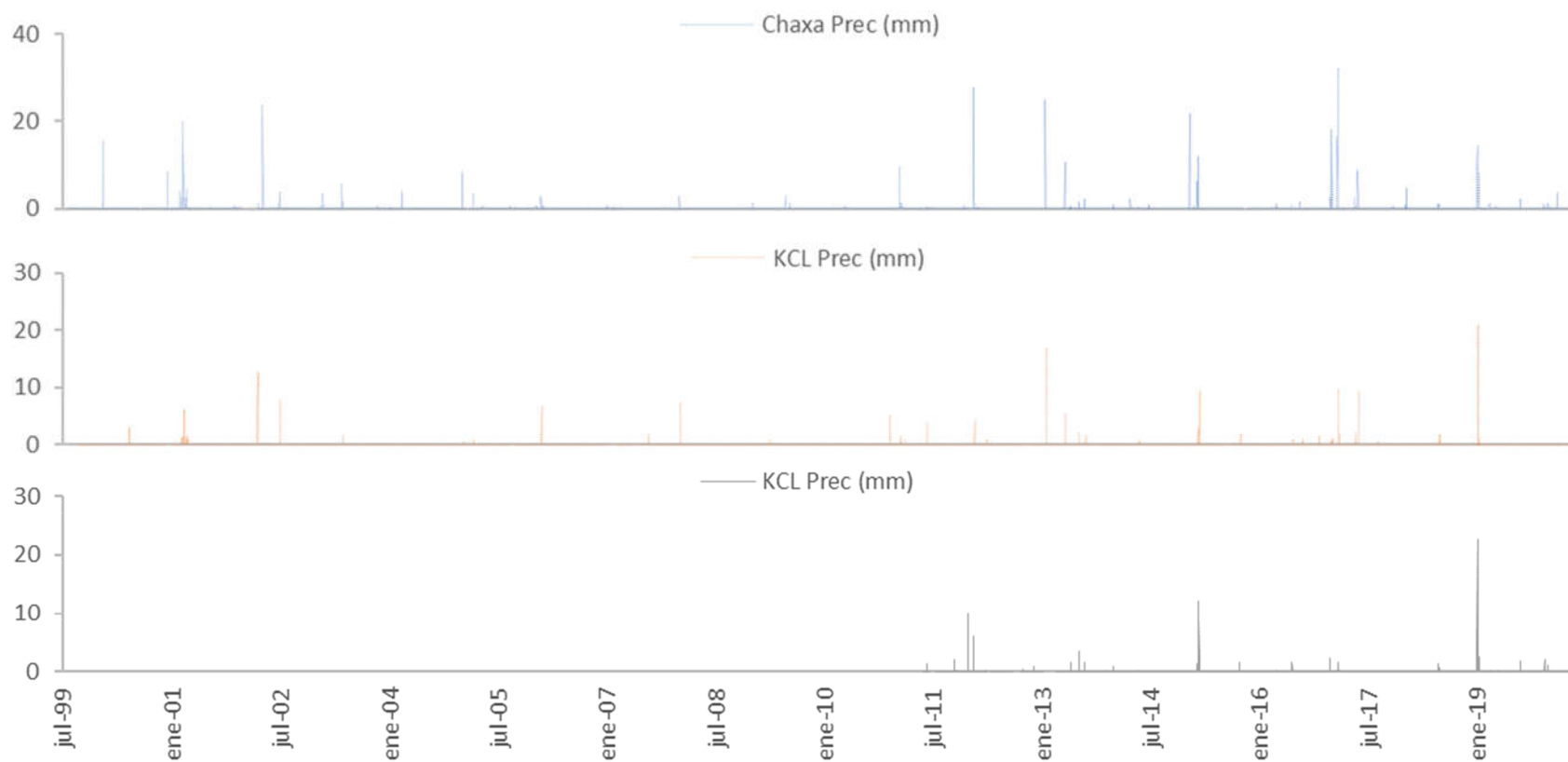
Fuente: Flow

Figura 2-10: Series de tiempo de dirección del viento sin rellenar, para las estaciones utilizadas en este trabajo (años 2018 a 2020)



Fuente: Flow

Figura 2-11: Series de tiempo de presión atmosférica sin rellenar, para las estaciones utilizadas en este trabajo (años 2007 a 2020)



Fuente: Flow

Figura 2-12: Series de tiempo de precipitación sin rellenar, para las estaciones utilizadas en este trabajo (años 1999 a 2020)

2.2 Análisis estadístico y correlaciones de datos

A las series de datos validados se calculó los estadísticos que se presentan desde la Tabla 2-9 hasta la Tabla 2-14, entre los que se incluyen el promedio y la desviación estándar. Para la precipitación han sido considerado los valores cero en el cálculo de los estadísticos.

Tabla 2-9: Estadísticos de las series de temperatura del aire en estaciones utilizadas

	Chaxa	KCL	SOP
Promedio (°C)	14,43	16,25	16,10
Máximo (°C)	25,16	26,92	25,98
Mínimo (°C)	0,74	2,71	3,11
Varianza (°C)	20,76	15,98	17,06
Desviación estándar (°C)	4,56	4,00	4,13
Coeficiente de variación (-)	0,32	0,25	0,26
Coeficiente de asimetría (-)	-0,25	-0,44	-0,39

Tabla 2-10: Estadísticos de las series de humedad relativa en estaciones utilizadas

	Chaxa	KCL	SOP
Promedio (%)	20,78	19,36	19,07
Máximo (%)	79,35	76,78	75,21
Mínimo (%)	6,44	0,03	5,66
Varianza (%)	79,19	85,82	84,38
Desviación estándar (%)	8,90	9,26	9,19
Coeficiente de variación (-)	0,43	0,48	0,48
Coeficiente de asimetría (-)	1,80	1,68	1,84

Tabla 2-11: Estadísticos de las series de velocidad del viento en estaciones utilizadas

	Chaxa	KCL	SOP
Promedio (m/s)	2,73	3,68	3,58
Máximo (m/s)	10,78	11,70	8,88
Mínimo (m/s)	0,85	0,09	0,76
Varianza (m/s)	0,74	1,68	1,43
Desviación estándar (m/s)	0,86	1,30	1,20
Coeficiente de variación (-)	0,31	0,35	0,33
Coeficiente de asimetría (-)	0,86	0,20	-0,06

Tabla 2-12: Estadísticos de las series de dirección en viento en estaciones utilizadas

	Chaxa	KCL	SOP
Promedio (°)	161,27	234,93	190,78
Máximo (°)	0,00	355,53	336,52
Mínimo (°)	0,00	0,08	0,15
Varianza (°)	12000,77	9288,82	7484,87
Desviación estándar (°)	109,55	96,38	86,52
Coeficiente de variación (-)	0,68	0,41	0,45
Coeficiente de asimetría (-)	0,18	-0,52	-0,42

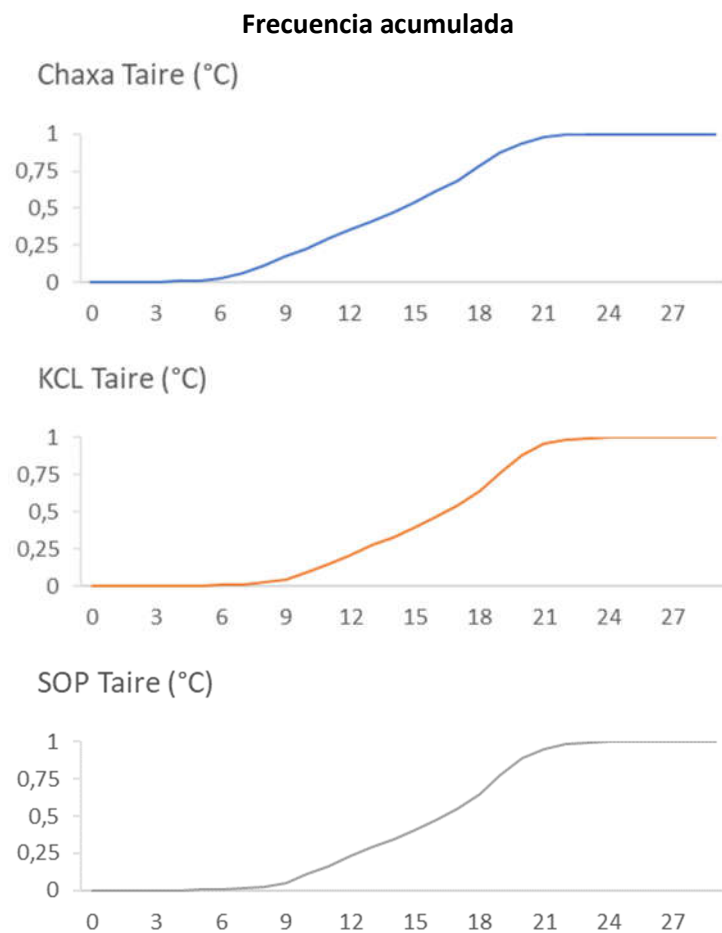
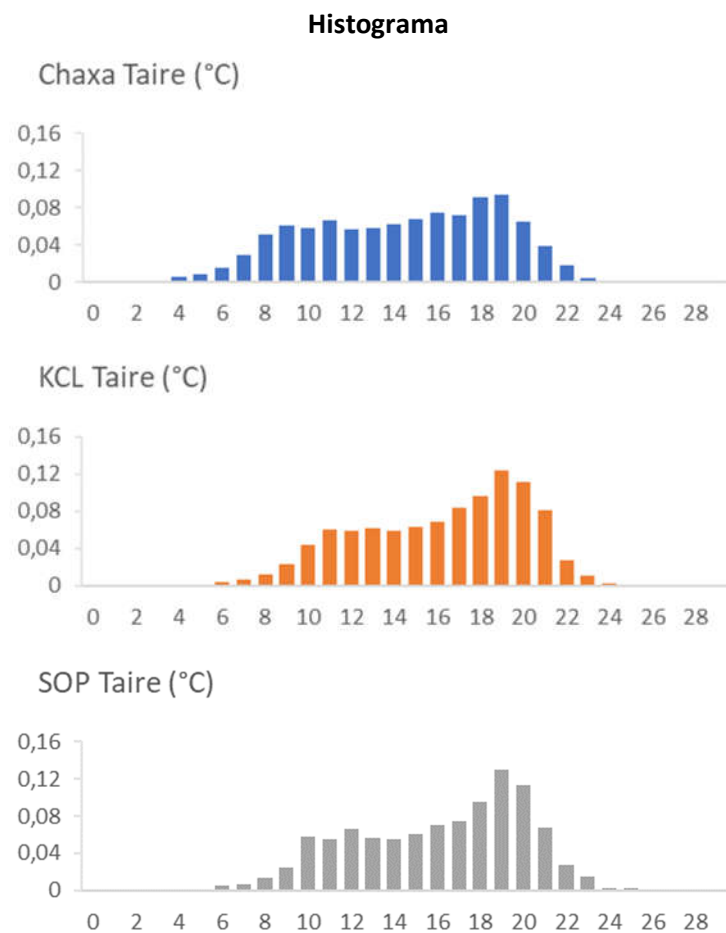
Tabla 2-13: Estadísticos de las series de presión atmosférica en estaciones utilizadas

	Chaxa	KCL	SOP
Promedio (mbar)	774,78	779,35	779,66
Máximo (mbar)	777,27	787,30	804,00
Mínimo (mbar)	772,93	771,15	773,30
Varianza (mbar)	0,49	8,19	22,20
Desviación estándar (mbar)	0,70	2,86	4,71
Coeficiente de variación (-)	0,00	0,00	0,01
Coeficiente de asimetría (-)	0,16	-0,24	2,13

Tabla 2-14: Estadísticos de las series de precipitación en estaciones utilizadas

	Chaxa	KCL	SOP
Promedio (mm)	0,08	0,03	0,03
Máximo (mm)	32,30	20,80	22,70
Mínimo (mm)	0,00	0,00	0,00
Varianza (mm)	0,96	0,24	0,30
Desviación estándar (mm)	0,98	0,49	0,55
Coeficiente de variación (-)	12,96	16,03	16,41
Coeficiente de asimetría (-)	20,06	25,49	29,06

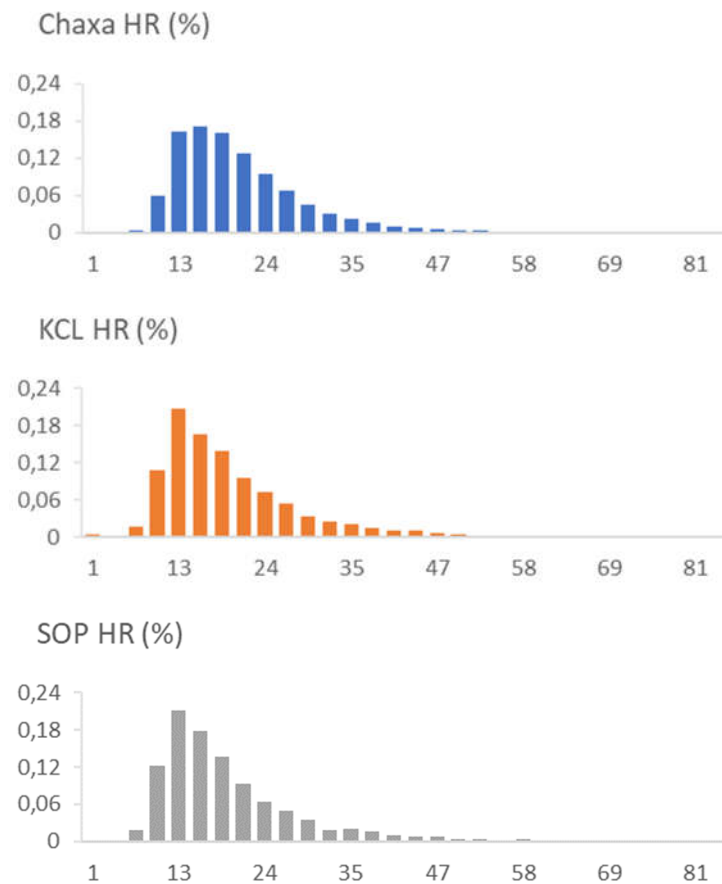
Desde la Figura 2-13 a la Figura 2-18 se muestran los histogramas de los datos, que permiten inferir la distribución estadística de las series y comparar entre las estaciones. Se observa que algunas distribuciones se encuentran muy concentradas (precipitación), mientras que otras se encuentran distribuidas dentro de todo el rango posible de la variable (dirección del viento). Por otro lado, las variables temperatura del aire, humedad relativa y velocidad del viento presentan comportamiento asimétrico; mientras que la presión atmosférica presentó distinto comportamiento según estación.



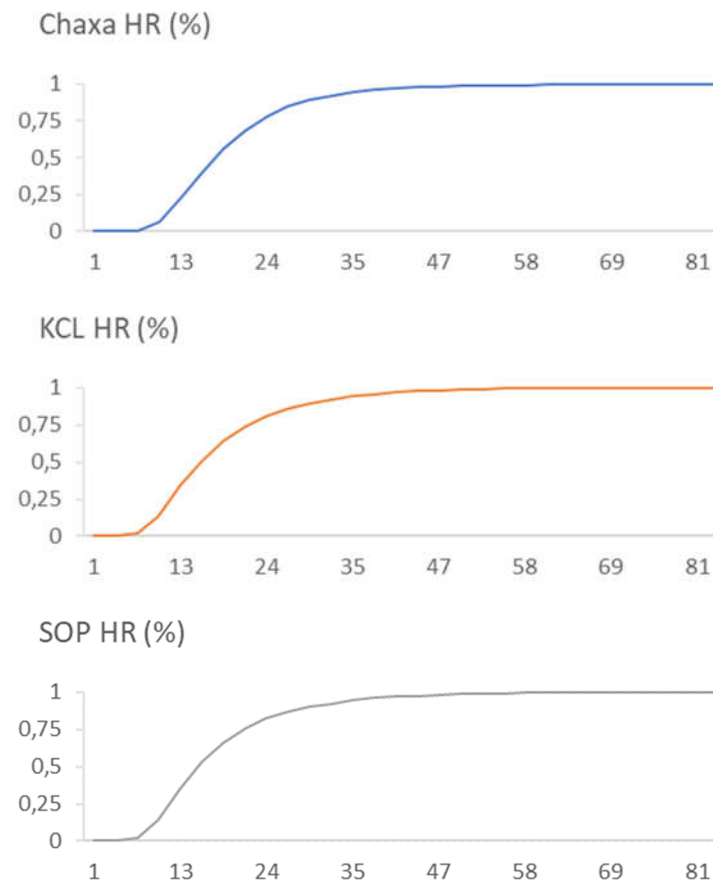
Fuente: Flow

Figura 2-13: Histogramas e histograma acumulado de las series de temperatura del aire en estaciones utilizadas en este trabajo

Histograma

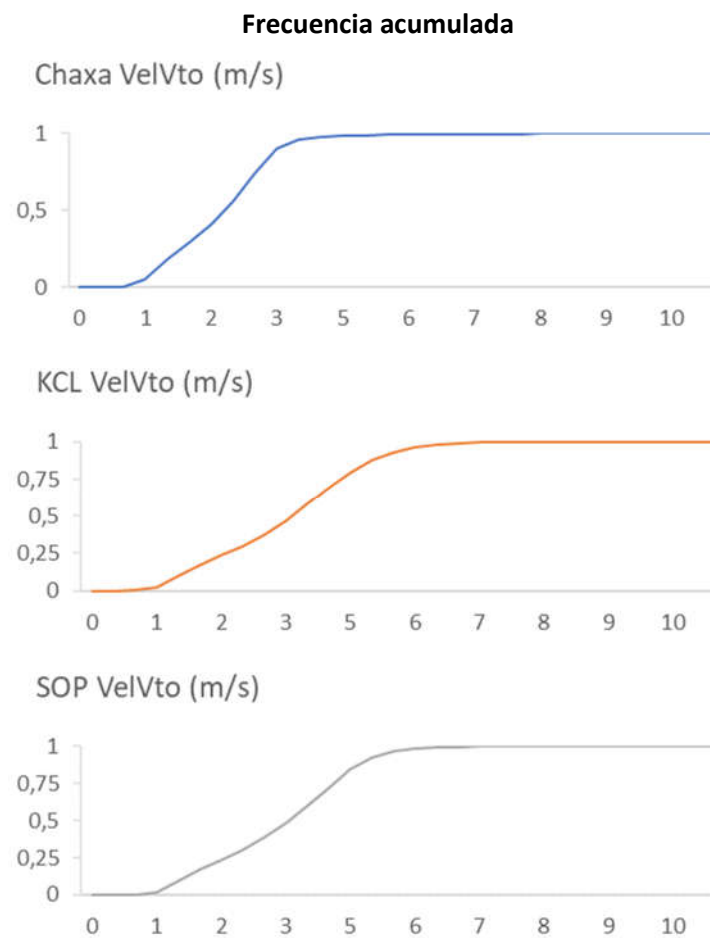
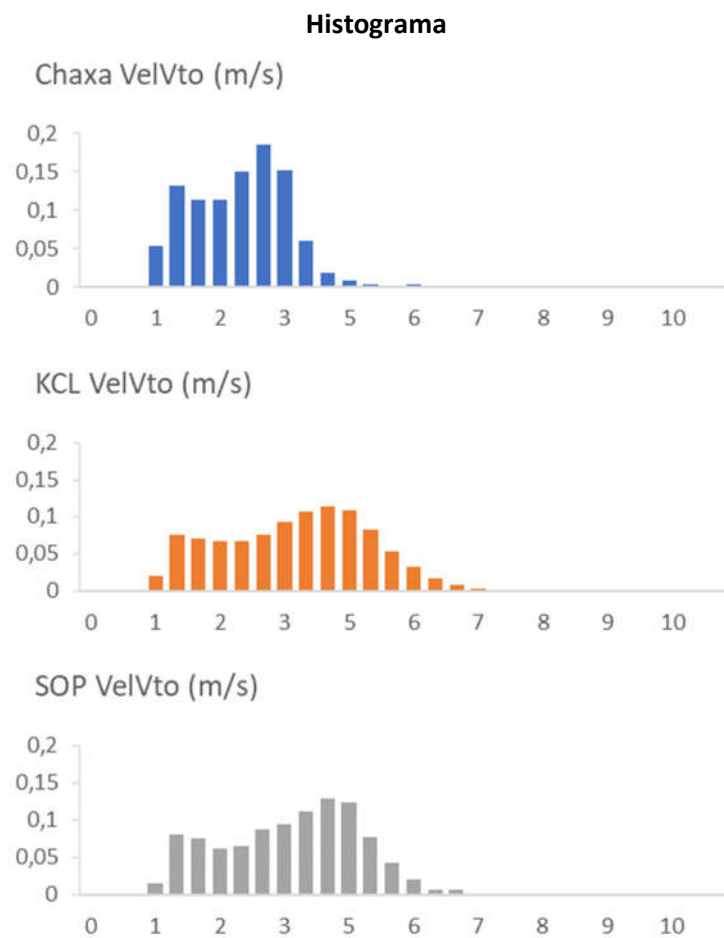


Frecuencia acumulada



Fuente: Flow

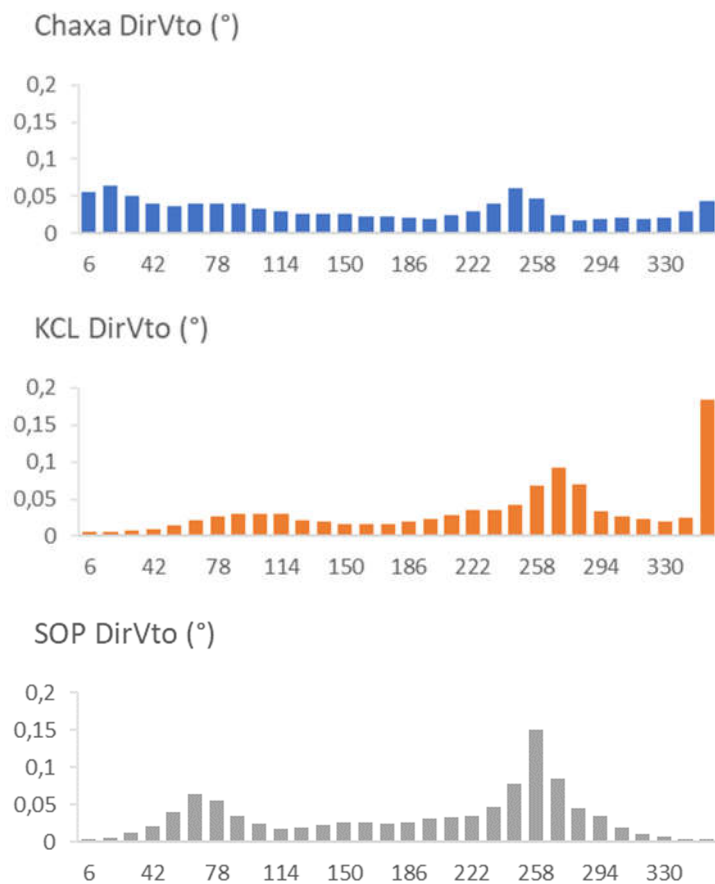
Figura 2-14: Histogramas e histograma acumulado de las series de humedad relativa en estaciones utilizadas en este trabajo



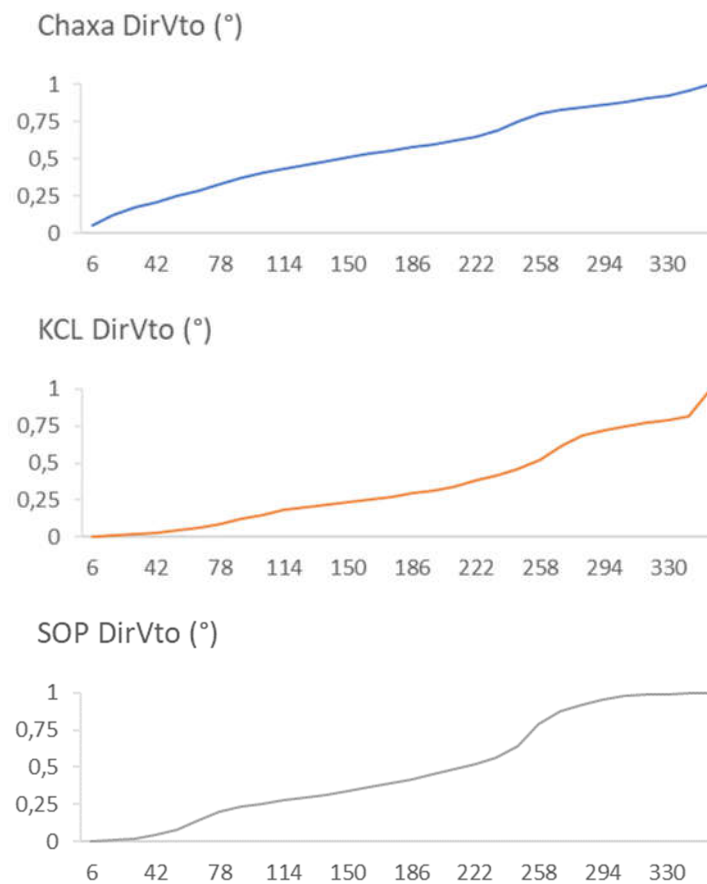
Fuente: Flow

Figura 2-15: Histogramas e histograma acumulado de las series de velocidad del viento en estaciones utilizadas en este trabajo

Histograma

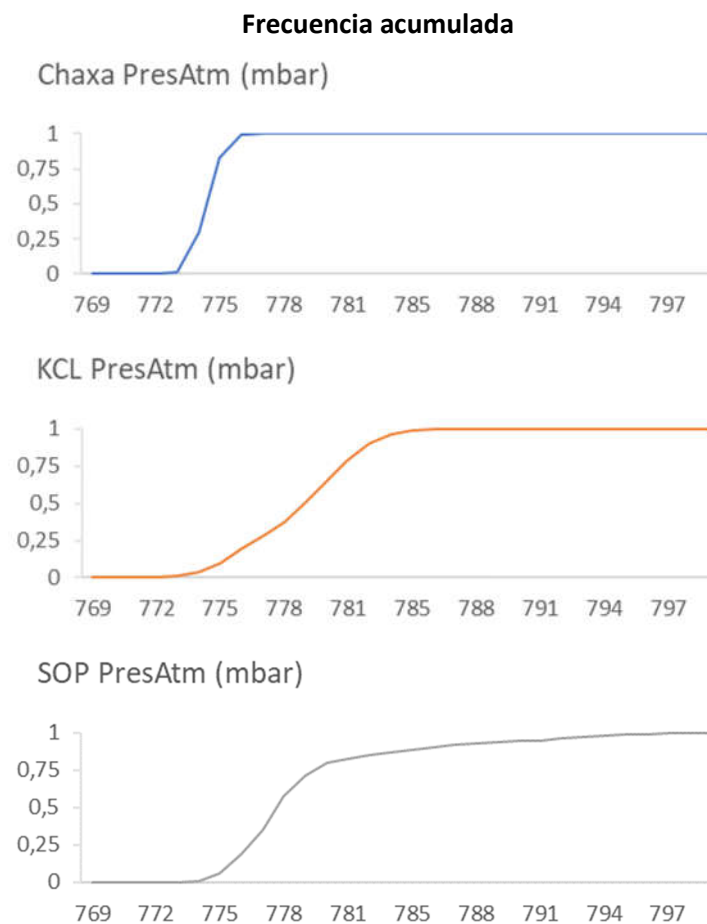
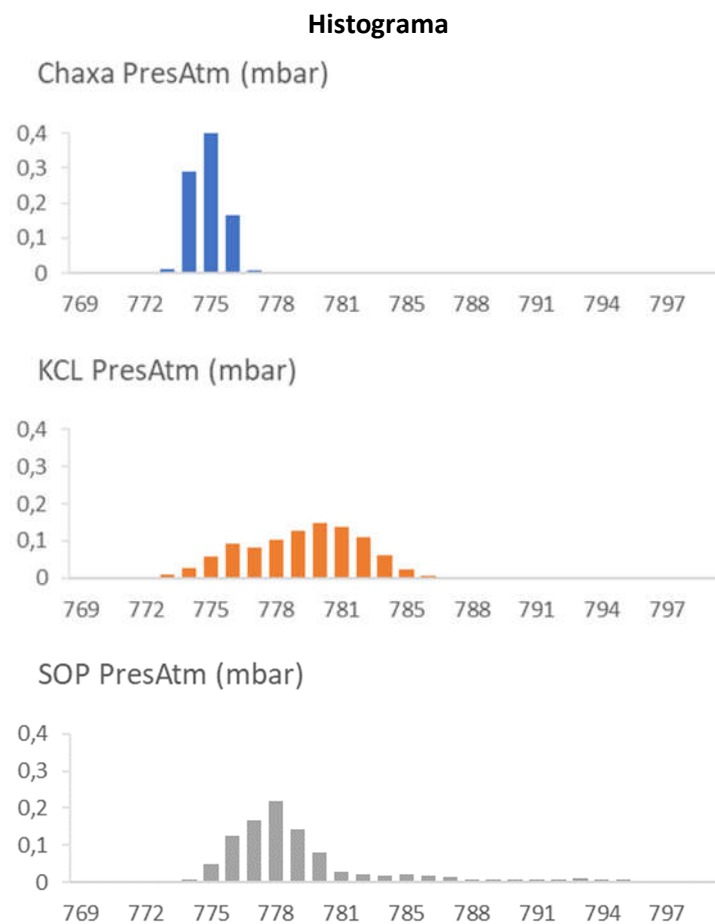


Frecuencia acumulada



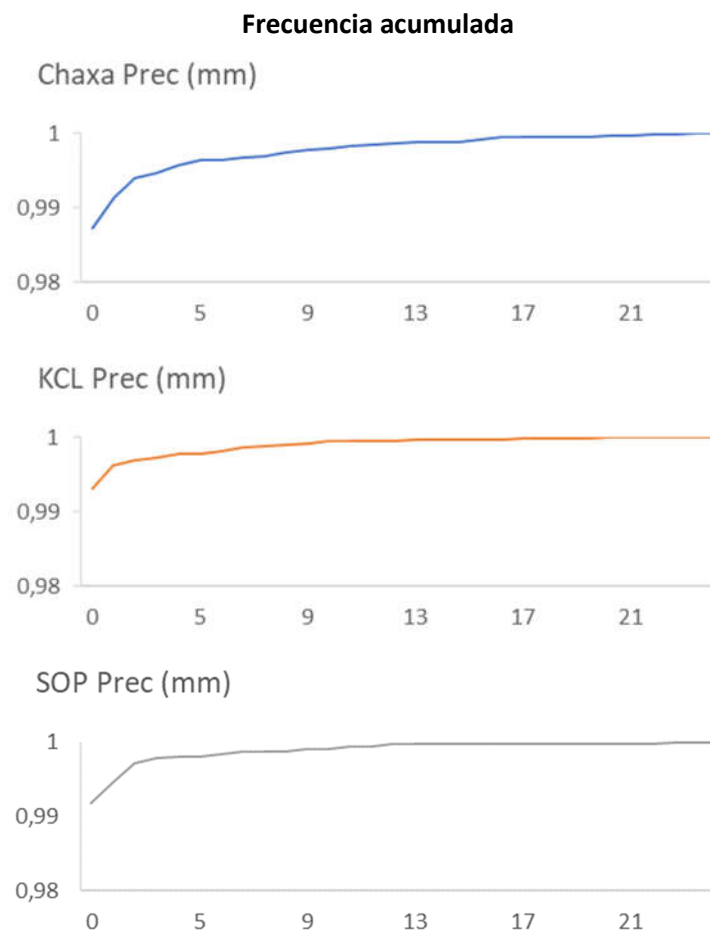
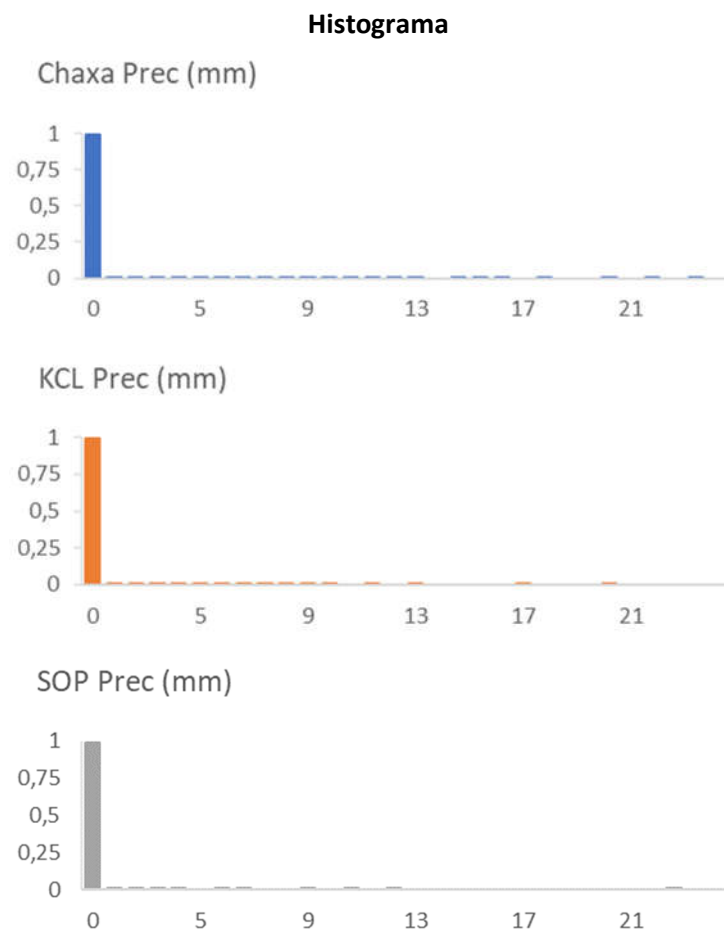
Fuente: Flow

Figura 2-16: Histograma e histograma acumulado de la dirección del viento relativa en estaciones utilizadas en este trabajo



Fuente: Flow

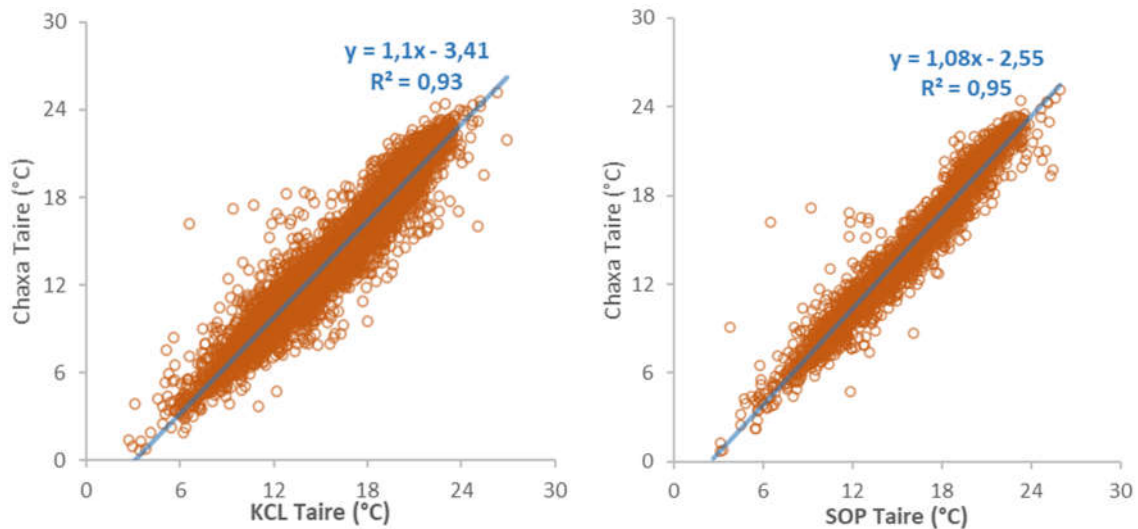
Figura 2-17: Histogramas e histograma acumulado de las series de presión atmosférica en estaciones utilizadas en este trabajo



Fuente: Flow

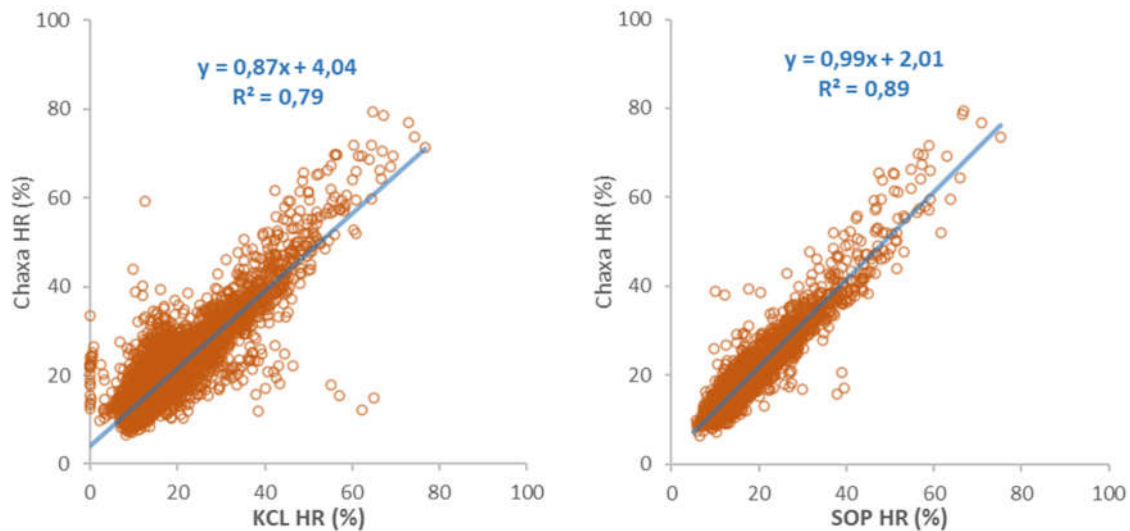
Figura 2-18: Histogramas e histograma acumulado (zoom en el rango 0,98 – 1,00) de las series de precipitación en estaciones utilizadas en este trabajo

Se calcularon las correlaciones entre la estación Chaxa (que requiere el relleno de datos) y las demás estaciones consideradas en este trabajo (Figura 2-19 a Figura 2-24). Los valores de los coeficientes de determinación (R^2) varían según variable. Por un lado, la temperatura del aire, humedad relativa y velocidad del viento presentan correlaciones entre 0,71 y 0,95, catalogadas como altas; por otro lado, el valor de la correlación para la dirección del viento y precipitación es baja ($<0,05$). Como consecuencia de lo anterior, se aplicaron distintos métodos de relleno, que permitan resolver según el nivel correlación de variables encontrada entre las distintas estaciones.



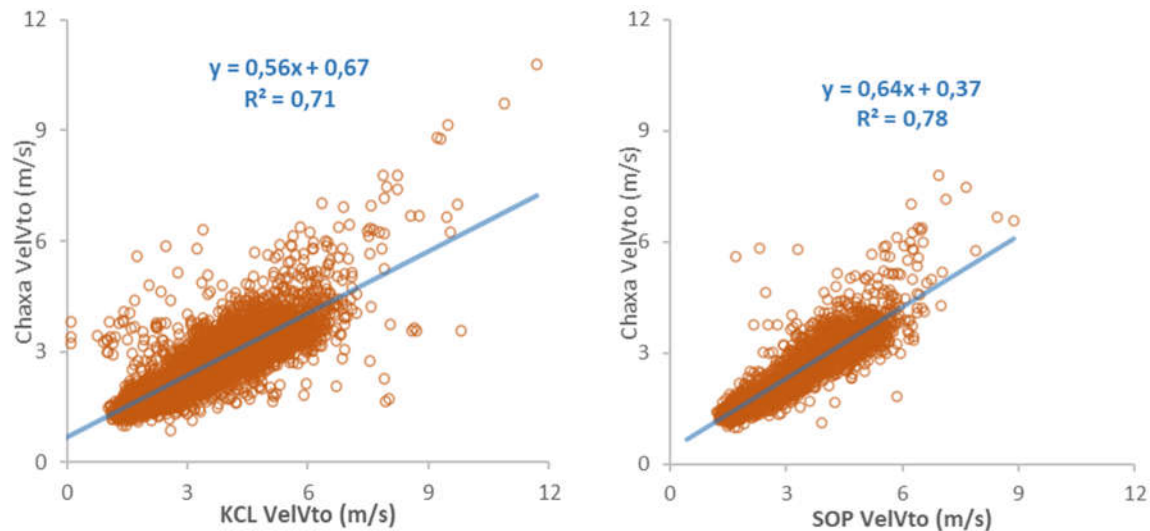
Fuente: Flow

Figura 2-19: Correlación entre la temperatura de la estación Chaxa y estaciones vecinas utilizadas en este trabajo



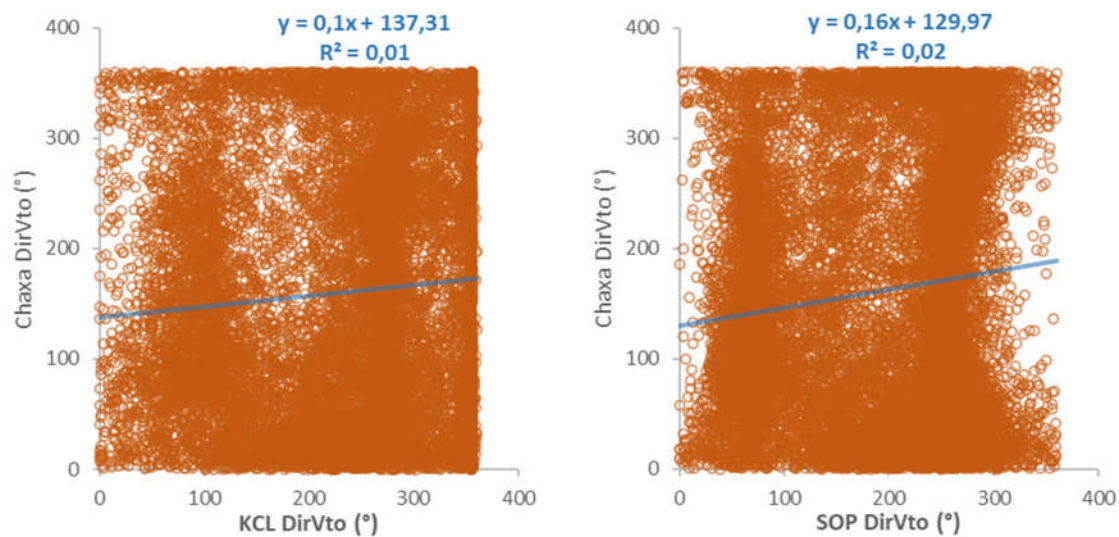
Fuente: Flow

Figura 2-20: Correlación entre la humedad relativa de la estación Chaxa y estaciones vecinas utilizadas en este trabajo



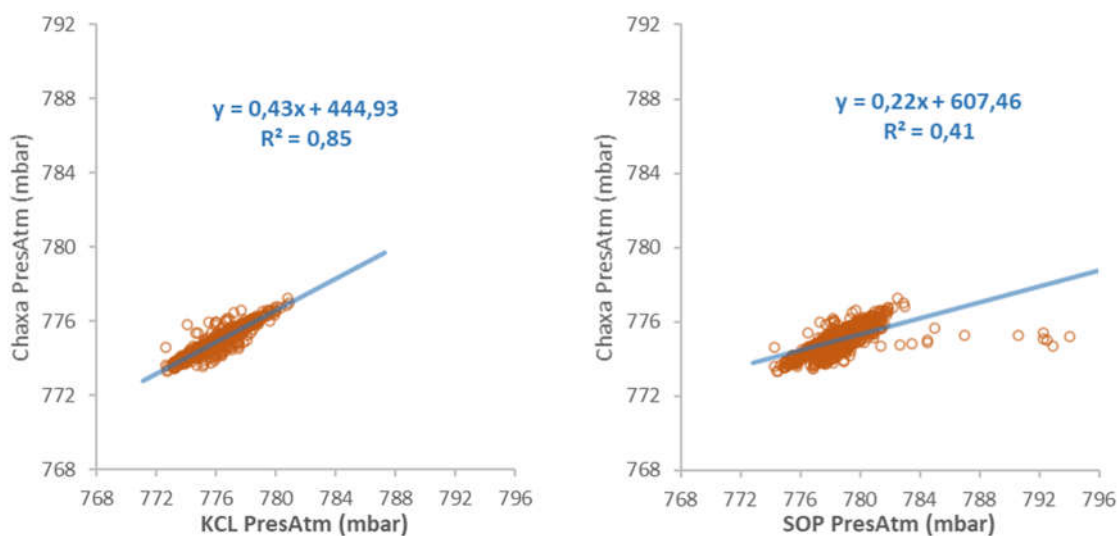
Fuente: Flow

Figura 2-21: Correlación entre la velocidad del viento de la estación Chaxa y estaciones vecinas utilizadas en este trabajo



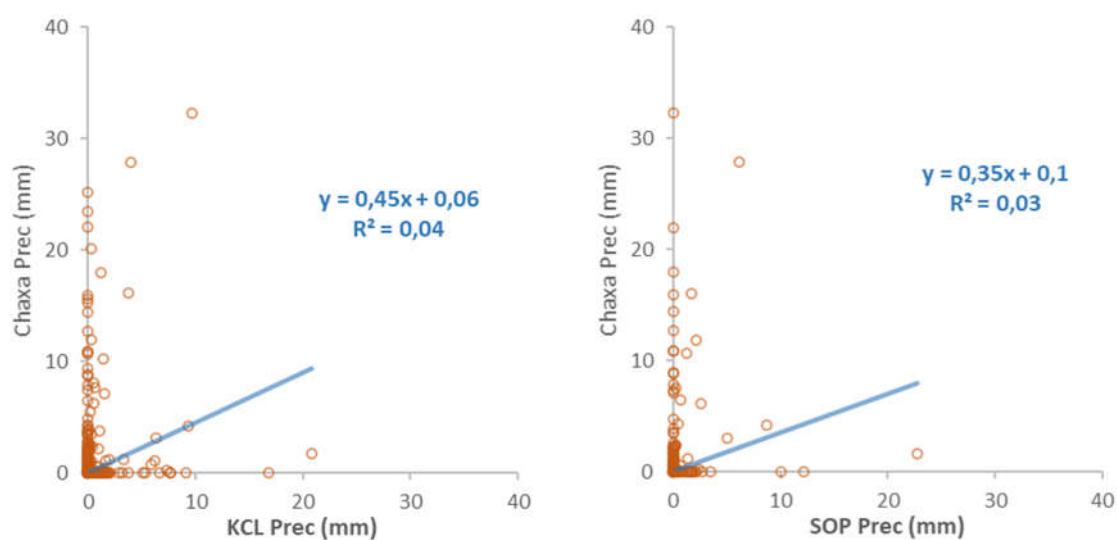
Fuente: Flow

Figura 2-22: Correlación entre la dirección del viento de la estación Chaxa y estaciones vecinas utilizadas en este trabajo



Fuente: Flow

Figura 2-23: Correlación entre la presión atmosférica de la estación Chaxa y estaciones vecinas utilizadas en este trabajo



Fuente: Flow

Figura 2-24: Correlación entre la precipitación de la estación Chaxa y estaciones vecinas utilizadas en este trabajo

2.3 Metodología para el relleno

Flow, dependiendo del grado de correlación que existe entre las distintas series, ha considerado el diagrama de decisión de la Figura 2-25 para la elección del método de relleno. Respecto a la precipitación, variable considerada de carácter especial por su baja correlación con estaciones vecinas, al igual que el documento “Actualización de la evaluación de la disponibilidad de recurso hídricos para constituir Derechos de Aprovechamiento en las Subcuencas Afluentes al Salar de Atacama. II Región. DGA SIT 210” (DGA,2010), al haber observación de precipitación igual a cero en las estaciones vecinas, se consideró que también hubo precipitación nula en Chaxa.

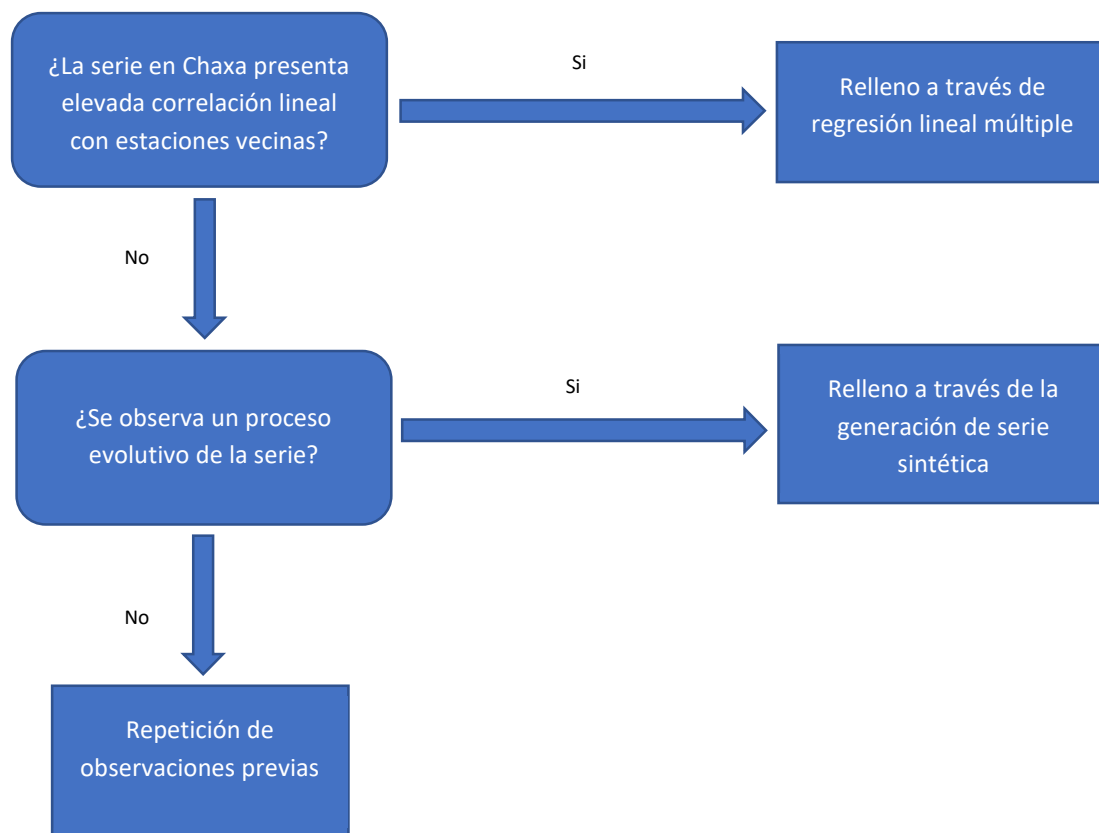


Figura 2-25: Diagrama de decisión

Según los resultados del capítulo anterior, en el proceso de relleno de datos de la estación Chaxa se aplicó una regresión lineal múltiple para las variables temperatura del aire, humedad relativa y velocidad del viento. Para la variable dirección del viento se aplicó una observación previa; para la presión atmosférica se generó una serie sintética a partir de sus estadísticos y para la precipitación se consideró el comportamiento histórico de la estación Chaxa y el comportamiento de las estaciones vecinas (KCL y SOP), para generar una relación probabilística de valores nulos (Tabla 2-15).

Tabla 2-15: Metodologías por variable

	Regresión lineal Múltiple	Serie sintética	Relleno valores nulos	Repetición observaciones previas
Temperatura del aire	•			
Humedad relativa	•			
Velocidad del viento	•			
Dirección del viento				•
Presión atmosférica		•		
Precipitación			•	

Fuente: Flow

2.3.1 Modelo de regresión lineal múltiple

Las series incompletas de temperatura del aire, humedad relativa y velocidad del viento se rellenaron utilizando un modelo de regresión lineal múltiple, que se considera apropiado dadas las características que fueron descritas en la sección precedente. Para la regresión lineal múltiple se utilizó la siguiente expresión (DICTUC – DGA, 2008):

$$Y_i^* = \alpha_v \cdot X1_i + \beta_v \cdot X2_i + \sqrt{1 - R_v^2} \cdot \varepsilon_v \cdot S_{y,v} \quad \text{Ecuación 2}$$

Siendo:

Y_i^* = dato rellenado en el día i

$X1_i$ y $X2_i$ = dato en el día i en estaciones cercanas o con características similares (correlacionadas).

α_v y β_v = parámetros de ponderación estimados mediante una regresión lineal, minimizando la suma de errores al cuadrado entre los valores registrados de la serie a rellenar ($Y_{i,v}$) y los que se obtienen con la ecuación de relleno (Y_i^*), para la variable "v".

El término adicional $(\sqrt{1 - R_v^2} \cdot \varepsilon_v \cdot S_{y,v})$ se agregó con objeto de evitar una distorsión de la varianza de la serie rellenada, siendo:

R_v^2 = coeficiente de determinación de la regresión múltiple para la variable "v".

ε_v = variable aleatoria normal estándar para la variable "v".

$S_{y,v}$ = desviación típica de la serie original ($Y_{i,v}$) posterior a la eliminación de periodicidad, a través de la diferencia en el valor medido y el valor medio quincenal para la variable "v"

En ausencia de este término adicional, los valores rellenados se ubican todos alineados en la recta definida por los parámetros α_v y β_v , despreciando la varianza de la distribución de probabilidad de la serie a rellenar Y_v .

2.3.2 Serie sintética

La serie meteorológica incompleta se rellenó generando una serie sintética para los días sin información (Box and Jenkins, 2015; Mudelsee, M. 2019). Esta metodología se considera apropiada dado la correlación es baja entre estaciones o no hay estaciones vecinas. En el caso de la presión atmosférica, cabe señalar que la estación Chaxa es almacenada a través de sus valores medios diarios, mientras que las estaciones KCL y SOP son almacenados con su valor máximo diario, lo que podría estar incidiendo en las bajas correlaciones encontradas, sin embargo, como se demuestra en el capítulo siguiente, el método es suficiente para representar los valores faltantes.

La siguiente expresión permite descomponer la serie de tiempo de presión atmosférica en tres componentes:

$$PresAtm_t^* = (m \cdot t + n) + (A \cdot \text{seno}(B \cdot t + C)) + \varepsilon \quad \text{Ecuación 3}$$

La primera componente corresponde a la tendencia de la serie, la segunda corresponde a la periodicidad y la tercera corresponde al ruido blanco (Box & Jenkins, 2015), siendo:

m = pendiente relación lineal

t = tiempo transcurrido

n = intersección del eje vertical en la relación lineal

A = amplitud de la función periódica

B = periodo de la función

C = desplazamiento de la función periódica

ε = ruido blanco (función normal, promedio 0, varianza σ)

Todos los parámetros son obtenidos a partir del ajuste de mínimos cuadrados.

2.3.3 Repetición observaciones previas

Este método se aplicó a la dirección del viento y consistió en utilizar de forma aleatoria un valor previo registrado para el relleno del periodo faltante. Este criterio se sustenta en la baja o nula relación existente entre estaciones y la elevada dispersión de los datos observados la cual no permite visualizar relación alguna salvo elementos aleatorios. El método es similar a repetir una observación histórica, pero añadiendo cierto grado de aleatoriedad. Este tipo de metodología es muy frecuente, por ejemplo,

en el informe “Análisis de la oferta hídrica del Salar de Atacama” (DGA, 2013) se consideró información del balance hídrico de Chile (DGA, 1986) y de DGA (2010) para estimar una recarga al Salar de Atacama actualizada hasta el año 2013, es decir, repiten periodos previos para completar periodos futuros.

2.3.4 Relleno valores nulos

Este relleno se aplica exclusivamente a los datos de precipitación y se basa en la probabilidad de encontrar valores nulos si se encontraron valores nulos en las estaciones vecinas. El procedimiento consiste en contar el número de días que cumplen determinada condición de precipitación sobre el número total de datos (a través de una probabilidad empírica). Este método es aplicable sólo para rellenar datos nulos (DGA, 2010). En el caso que se hubiese registrado eventos de precipitación en estaciones vecinas, Flow hubiese recomendado un generador de series sintéticas de precipitación o el uso de percepción remota (ejemplo, imágenes IMERG) para el relleno de datos faltantes.

3 RELLENO DE DATOS ESTACIÓN CHAXA

3.1 Regresión lineal múltiple

3.1.1 Temperatura del aire

La aplicación de la metodología de relleno de datos consideró el uso de las estaciones vecinas KCL y SOP, dado que mantienen una elevada correlación histórica con la estación a rellenar. Al utilizar los periodos con datos comunes, por mínimos cuadrados se obtuvieron los parámetros α y β de la Ecuación 2. En la Tabla 3-1 se resumen los parámetros obtenidos y la Figura 3-1 muestra la correlación que da como resultado el valor de R^2 de la regresión múltiple, entre valores medidos y estimados.

Tabla 3-1: Parámetros y estadísticos ajustados en la regresión para el relleno de Chaxa - temperatura del aire

Parámetro	Valor
Alfa (ponderador estación KCL)	0,5
Beta (ponderador estación SOP)	0,416
R^2 de la correlación múltiple	0,95
Desviación Estándar de la serie eliminada la periodicidad	1,47

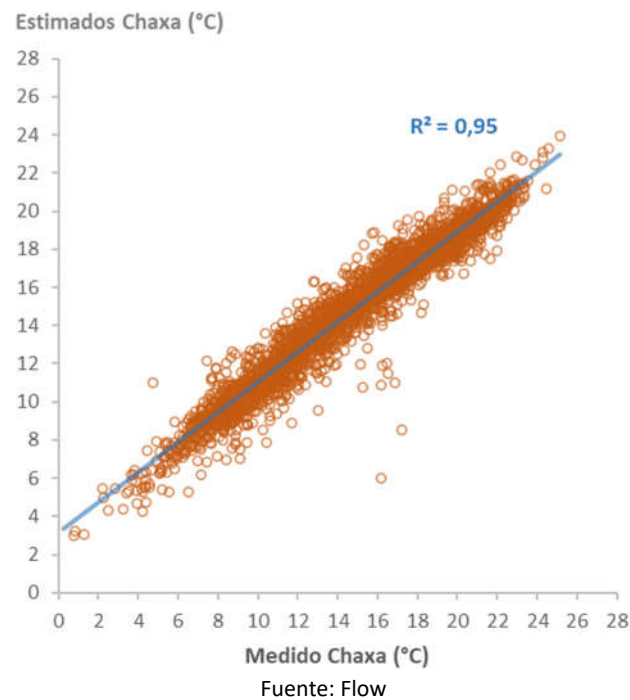


Figura 3-1: Correlación entre las series medida y estimada usando SOP y KCL para la variable temperatura del aire

El reemplazo de los parámetros en la Ecuación 2 queda expresada como sigue:

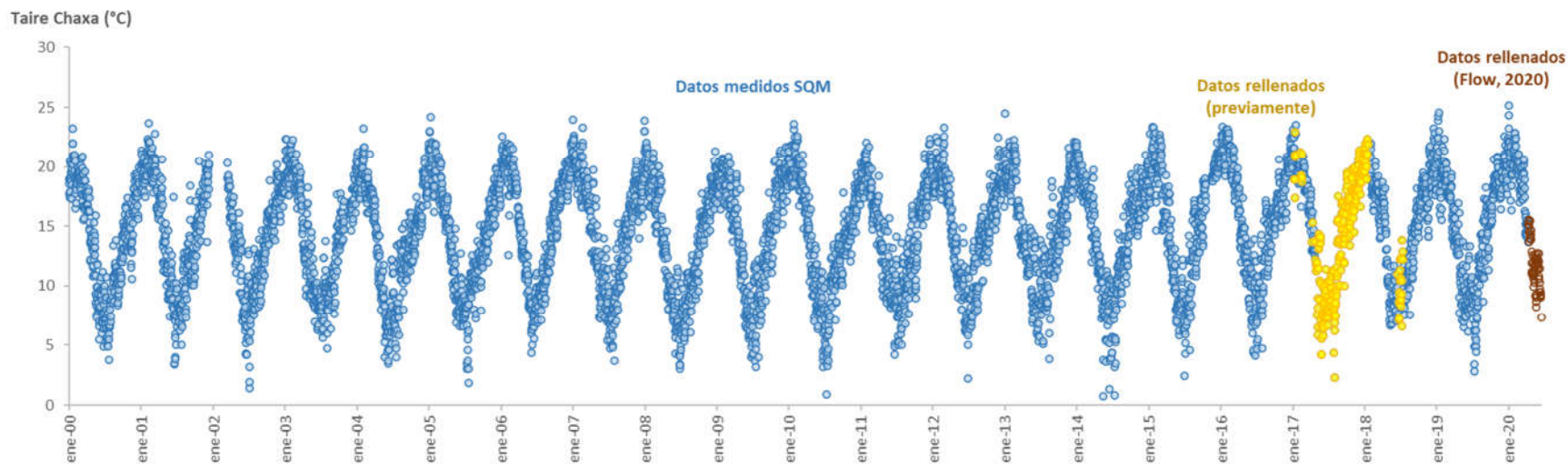
$$Y_i^* = 0,50 \cdot Taire KCL_i + 0,416 \cdot Taire SOP_i + 0,34 \cdot \varepsilon_i \quad \text{Ecuación 4}$$

La serie resultante de aplicar la Ecuación 4 se presenta en la Figura 3-2 en un periodo desde enero de 2000 hasta junio de 2020, y en la Figura 3-3 en un periodo desde enero de 2019 hasta junio de 2020. Las dos escalas permiten apreciar la similitud de los datos rellenados en relación con la serie histórica. Una verificación de esta similitud se ve en los estadísticos de datos medidos y estimados que se presenta en la Tabla 3-2 para la serie dividida en dos periodos hasta el último año. Las diferencias menores al 10% hablan de una correcta reproducción de las características, en las magnitudes y dispersión de la variable.

Tabla 3-2: Estadísticos de las series original y rellenada para comparar su similitud. Variable temperatura del aire

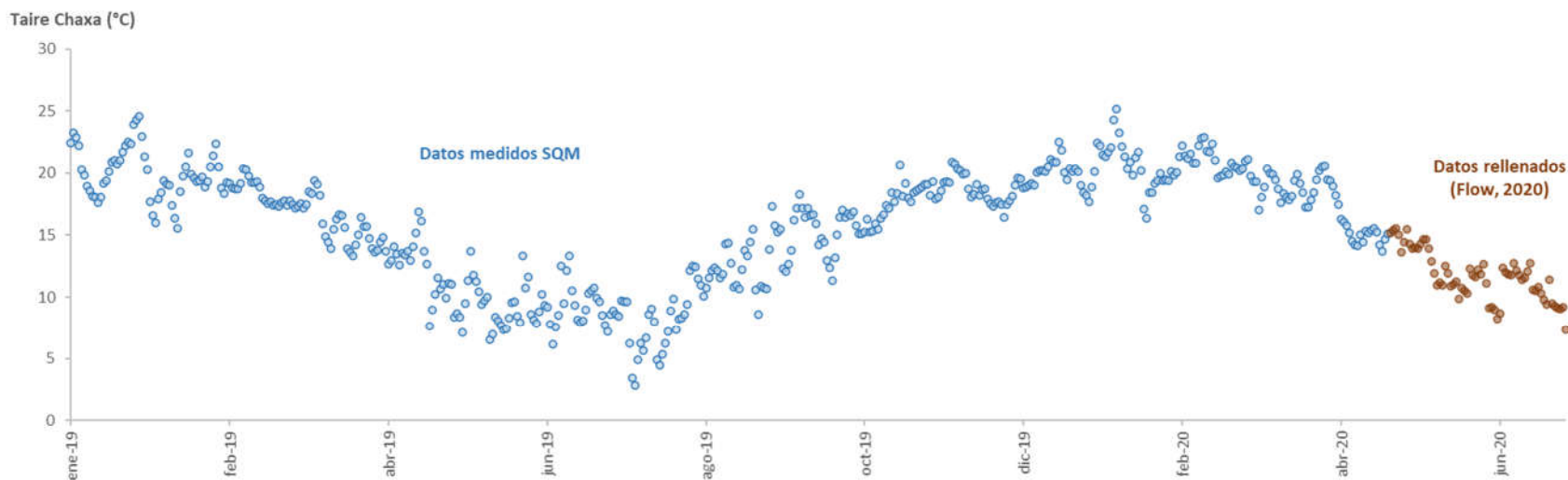
	Periodo		
	Ago99—jun19	Jul19 – jun20	Diferencia
Promedio (°C)	14,4	15,5	-7,8%
Desviación Estándar (°C)	4,5	4,6	-0,2%

Fuente: Flow



Fuente: Flow

Figura 3-2: Serie de tiempo de la temperatura del aire en Chaxa, desde enero 2000 hasta junio 2020, incluyendo datos medidos y rellenados



Fuente: Flow

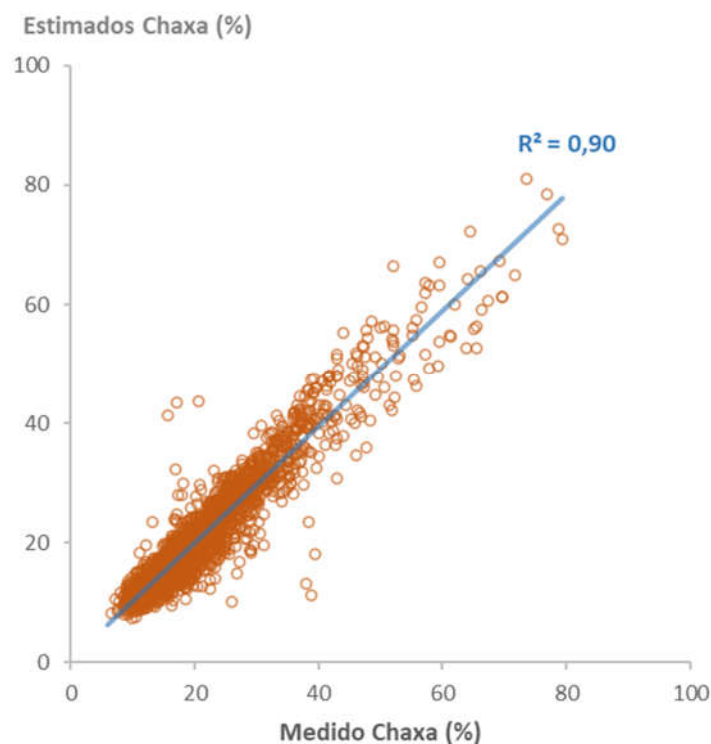
Figura 3-3: Serie de tiempo de la temperatura del aire en Chaxa, desde enero 2019 hasta junio 2020, incluyendo datos medidos y rellenados

3.1.2 Humedad relativa

La aplicación de la metodología de relleno de datos consideró el uso de las estaciones vecinas KCL y SOP, dado que mantienen una elevada correlación histórica con la estación a rellenar. Al utilizar los periodos con datos comunes, por mínimos cuadrados se obtuvieron los parámetros α y β de la Ecuación 2. En la Tabla 3-3 se resumen los parámetros obtenidos y la Figura 3-4 muestra la correlación que da como resultado el valor de R^2 de la regresión múltiple, entre valores medidos y estimados.

Tabla 3-3: Parámetros y estadísticos ajustados en la regresión para el relleno de Chaxa. Variable humedad relativa

Parámetro	Valor
Alfa (ponderador estación KCL)	0,74
Beta (ponderador estación SOP)	0,352
R^2 de la correlación múltiple	0,90
Desviación Estándar de la serie eliminada la periodicidad	5,56



Fuente: Flow

Figura 3-4: Correlación entre las series medida y estimada. Variable humedad relativa

El reemplazo de los parámetros en la Ecuación 2 queda expresada como sigue:

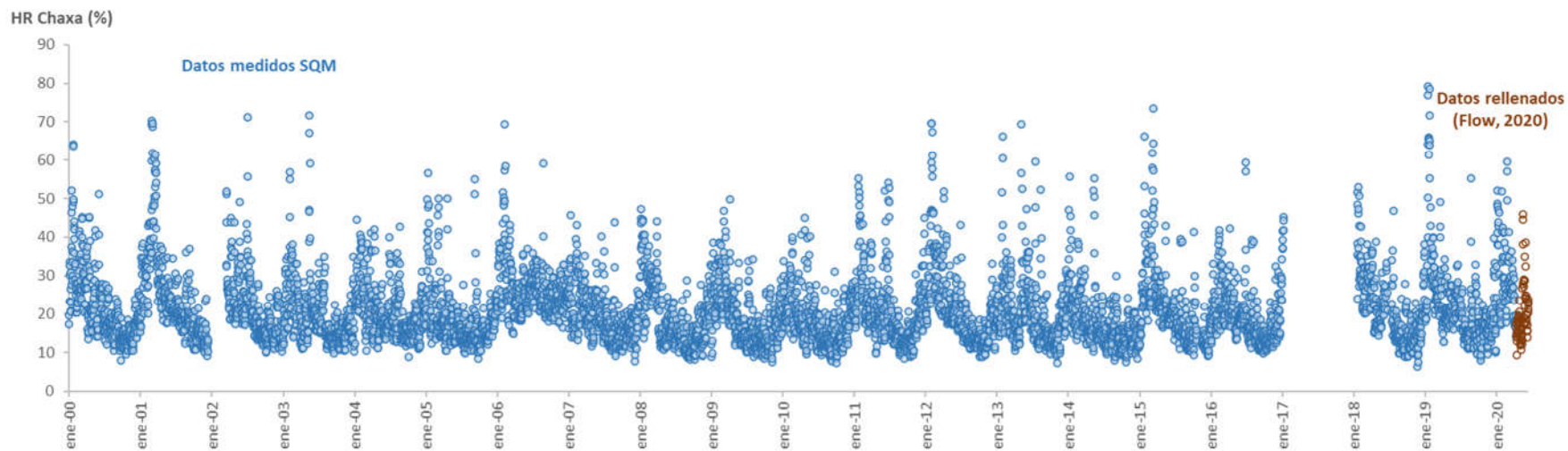
$$Y_i^* = 0,74 \cdot HR KCL_i + 0,352 \cdot HR SOP_i + 1,75 \cdot \varepsilon_i \quad \text{Ecuación 5}$$

La serie resultante de aplicar la Ecuación 5 se presenta en la Figura 3-5 en un periodo desde enero de 2000 hasta junio de 2020, y en la Figura 3-6 en un periodo desde enero de 2019 hasta junio del año 2020. Las dos escalas permiten apreciar la similitud de los datos rellenados en relación con la serie histórica. Una verificación de esta similitud se ve en los estadísticos de datos medidos y estimados, que se presenta en la Tabla 3-4 para la serie dividida en dos periodos hasta el último año. Diferencias menores al 10% hablan de una correcta reproducción de las características, en las magnitudes y dispersión de la variable.

Tabla 3-4: Estadísticos de las series original y rellenada para comparar su similitud. Variable humedad relativa

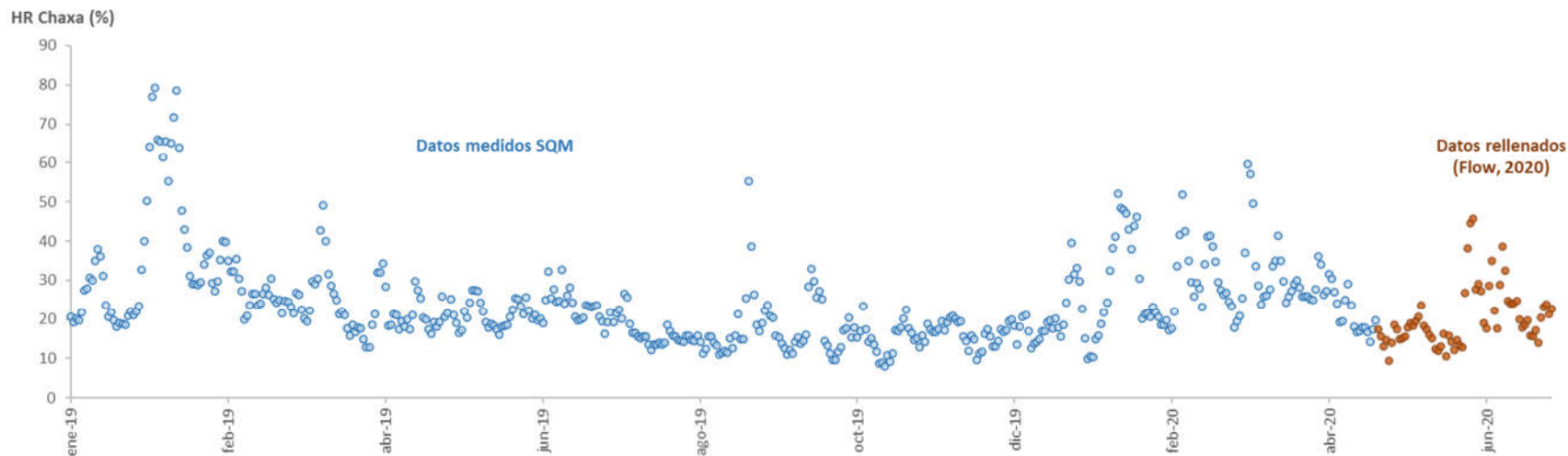
	Periodo		
	Ago99—jun19	Jul19 – jun20	Diferencia
Promedio (°C)	20,75	21,36	-5,0%
Desviación Estándar (°C)	8,88	9,06	-2,0%

Fuente: Flow



Fuente: Flow

Figura 3-5: Serie de tiempo de la humedad relativa en Chaxa, desde enero 2000 hasta junio 2020, incluyendo datos medidos y rellenados



Fuente: Flow

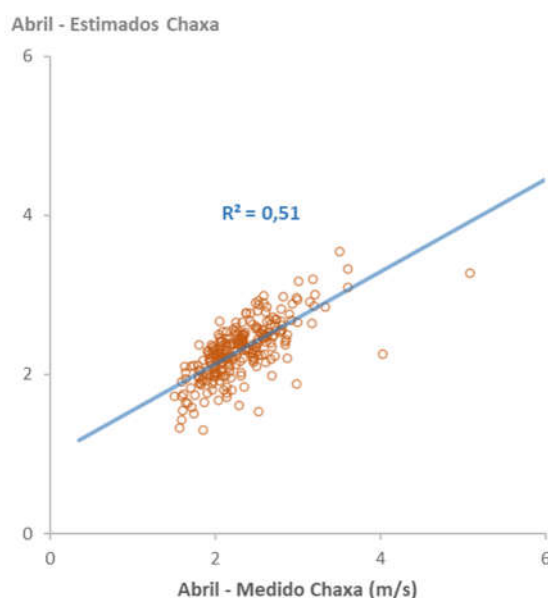
Figura 3-6: Serie de tiempo de la humedad relativa en Chaxa, desde enero 2019 hasta junio 2020, incluyendo datos medidos y rellenados

3.1.3 Velocidad del viento

La aplicación de la metodología de relleno de datos de velocidad del viento consideró el uso de las estaciones vecinas KCL y SOP, dado que mantienen cierta correlación histórica con la estación a rellenar. A diferencia de la variable temperatura del aire y humedad relativa, se observó para la velocidad del viento que la correlación de los datos divididos por mes presentó un ajuste más adecuado a los datos que la correlación anual. Al utilizar los periodos con datos comunes, por mínimos cuadrados se obtuvieron los parámetros α y β de la Ecuación 2. En la Tabla 3-5 se resumen los parámetros obtenidos y la Figura 3-7, Figura 3-8 y Figura 3-9 muestra la correlación que da como resultado el valor de R^2 de la regresión múltiple, entre valores medidos y estimados para los meses de abril, mayo y junio.

Tabla 3-5: Parámetros y estadísticos ajustados en la regresión para el relleno de Chaxa. Variable velocidad del viento

Parámetro	Valor		
	abril	mayo	junio
Alfa (ponderador estación KCL)	0,14	0,45	0,33
Beta (ponderador estación SOP)	0,58	0,36	0,53
R^2 de la correlación múltiple	0,51	0,84	0,88
Desviación Estándar de la serie eliminada la periodicidad	0,45	0,76	0,68



Fuente: Flow

Figura 3-7: Correlación entre las series medida y estimada. Variable velocidad del viento. Mes abril.

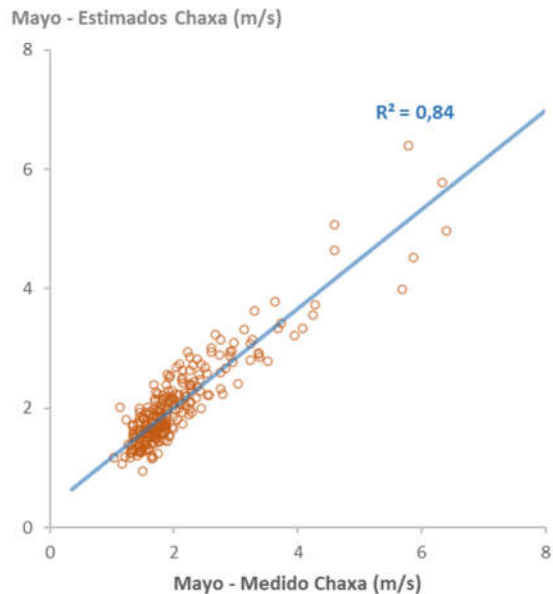


Figura 3-8: Correlación entre las series medida y estimada. Variable velocidad del viento. Mes mayo.

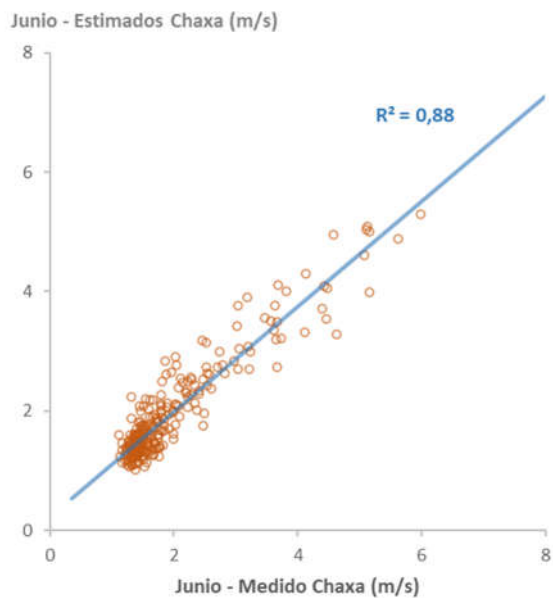


Figura 3-9: Correlación entre las series medida y estimada. Variable velocidad del viento. Mes junio.

El reemplazo de los parámetros en la Ecuación 2 queda expresada como sigue:

Abril:

$$Y_i^* = 0,14 \cdot VelVto KCL_i + 0,58 \cdot VelVto SOP_i + 0,31 \cdot \varepsilon_i \quad \text{Ecuación 6}$$

Mayo:

$$Y_i^* = 0,45 \cdot VelVto KCL_i + 0,36 \cdot VelVto SOP_i + 0,31 \cdot \varepsilon_i \quad \text{Ecuación 7}$$

Junio:

$$Y_i^* = 0,33 \cdot VelVto KCL_i + 0,53 \cdot VelVto SOP_i + 0,24 \cdot \varepsilon_i \quad \text{Ecuación 8}$$

La serie resultante de aplicar la Ecuación 6, Ecuación 7 y Ecuación 8 se presenta en la Figura 3-10, en un periodo desde enero del año 2000 hasta junio del año 2020, y en la Figura 3-11 en un periodo desde enero del año 2019 hasta junio del año 2020. Las dos escalas permiten apreciar la similitud de los datos rellenados en relación con la serie histórica. Una verificación de esta similitud se ve en los estadísticos de datos medidos y estimados que se presenta en Tabla 3-6, para la serie dividida en dos periodos hasta el último año. Las diferencias menores al 10% hablan de una correcta reproducción de las características, en las magnitudes y dispersión de la velocidad del viento.

Tabla 3-6: Estadísticos de las series original y rellenada para comparar su similitud. Variable velocidad del viento

	Periodo		
	Ago99—may19	Jun19 – may20	Diferencia
Promedio (m/s)	2,72	2,68	1,5%
Desviación Estándar (m/s)	0,86	0,87	-1,2%

Fuente: Flow

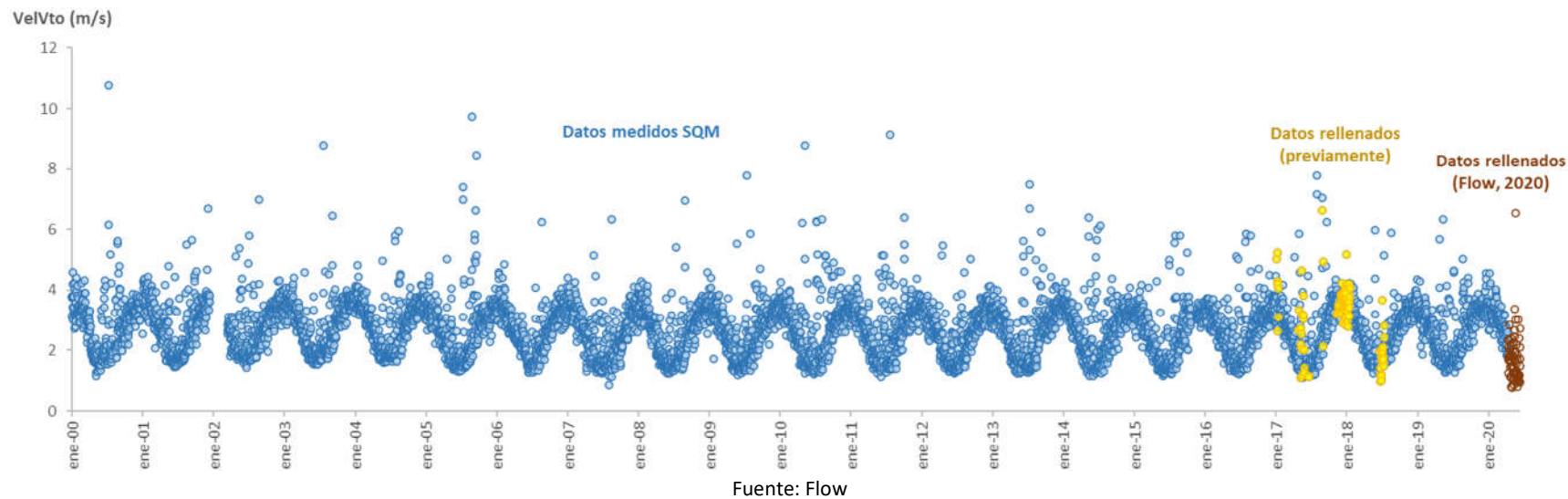


Figura 3-10: Serie de tiempo de la velocidad del viento en Chaxa, desde enero 2000 hasta junio 2020, incluyendo datos medidos y rellenados

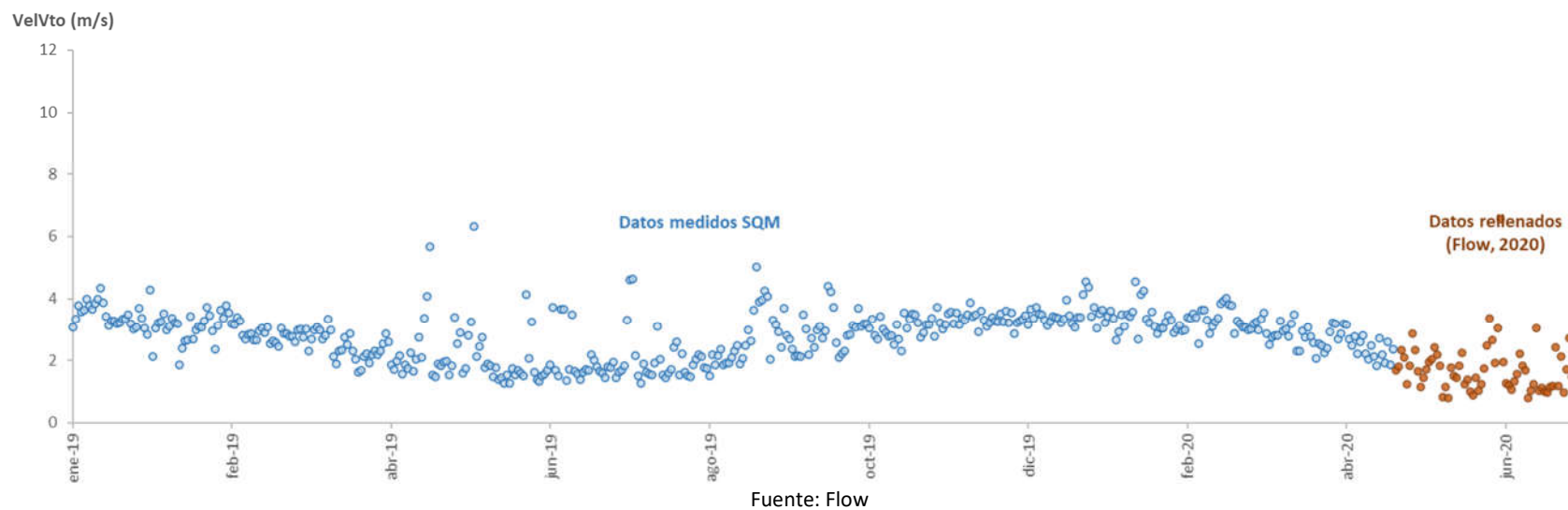


Figura 3-11: Serie de tiempo de la velocidad del viento en Chaxa, desde enero 2019 hasta junio 2020, incluyendo datos medidos y rellenados

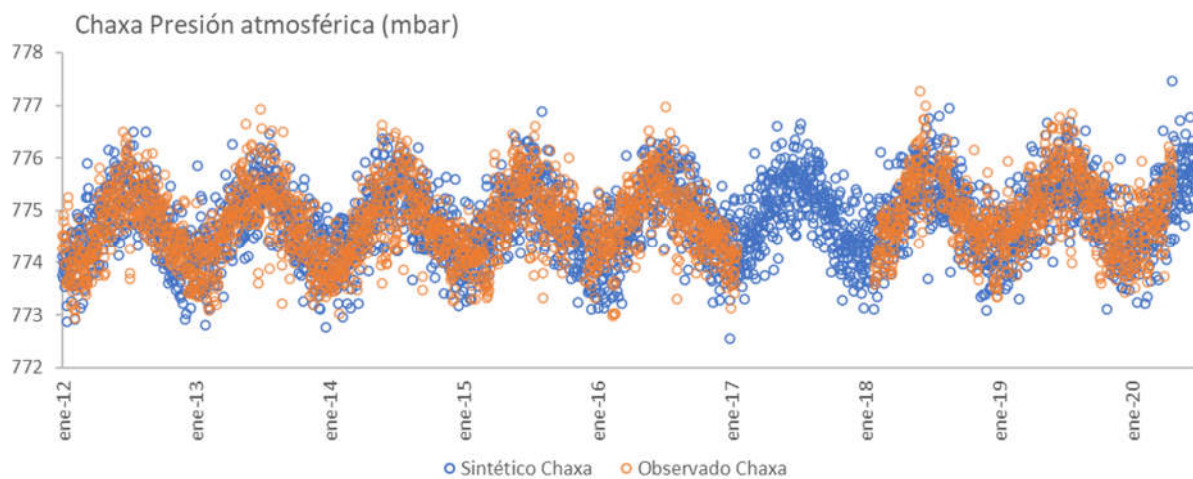
3.2 Serie sintética

3.2.1 Presión atmosférica

La aplicación de la metodología de relleno de datos consideró el uso de la información histórica de la estación Chaxa para generar una serie sintética, a partir de ajuste de funciones. Al utilizar el periodo entre el 1 de enero de 2012 y el 26 de abril de 2020, por mínimos cuadrados se obtuvieron los parámetros de la Ecuación 3. En la Tabla 3-7 se resumen los parámetros obtenidos y la Figura 3-12 muestra la serie de Chaxa observada vs la serie de Chaxa sintética.

Tabla 3-7: Valores de los parámetros y estadísticos ajustados en la regresión para el relleno de Chaxa

Parámetro	Valor
M	$1,38 \cdot 10^{-4}$
N	774,36
A	0,7
B	$1,72 \cdot 10^{-2}$
C	-1,58
$\sigma (\varepsilon = N(0, \sigma))$	0,497



Fuente: Flow

Figura 3-12: Gráfico de serie generada vs serie sintética para la presión atmosférica (enero 2012 a junio 2020)

El reemplazo de los parámetros en la Ecuación 2 queda expresada como sigue:

$$PresAtm_t^* = (1,38 \cdot 10^{-4} \cdot t^* + 774,36) + (0,7 \cdot \text{seno}(1,72 \cdot 10^{-2} \cdot t^* - 1,58)) + \varepsilon$$

$$t^* = (t + 1) - "01/01/2007"$$

Ecuación 9

La serie resultante de aplicar la Ecuación 9 se presenta en la Figura 3-13 en un periodo desde enero del 2012 hasta junio de 2020, y en la Figura 3-14 en un periodo desde enero del 2019 hasta junio de 2020. Las dos escalas permiten apreciar la similitud de los datos rellenados en relación con la serie histórica. Una verificación de esta similitud se ve en los estadísticos de datos medidos y estimados que se presenta en la Tabla 3-8, para la serie dividida en dos periodos hasta el último año. Diferencias menores al 10% hablan de una correcta reproducción de las características, en las magnitudes y dispersión de la variable.

Tabla 3-8: Estadísticos de las series original y rellenada para comparar su similitud. Variable presión atmosférica

	Periodo		
	Ago99 — jun19	Jul19 – jun20	Diferencia
Promedio (m/s)	774,73	775,00	0,0%
Desviación Estándar (m/s)	0,70	0,67	3,5%

Fuente: Flow

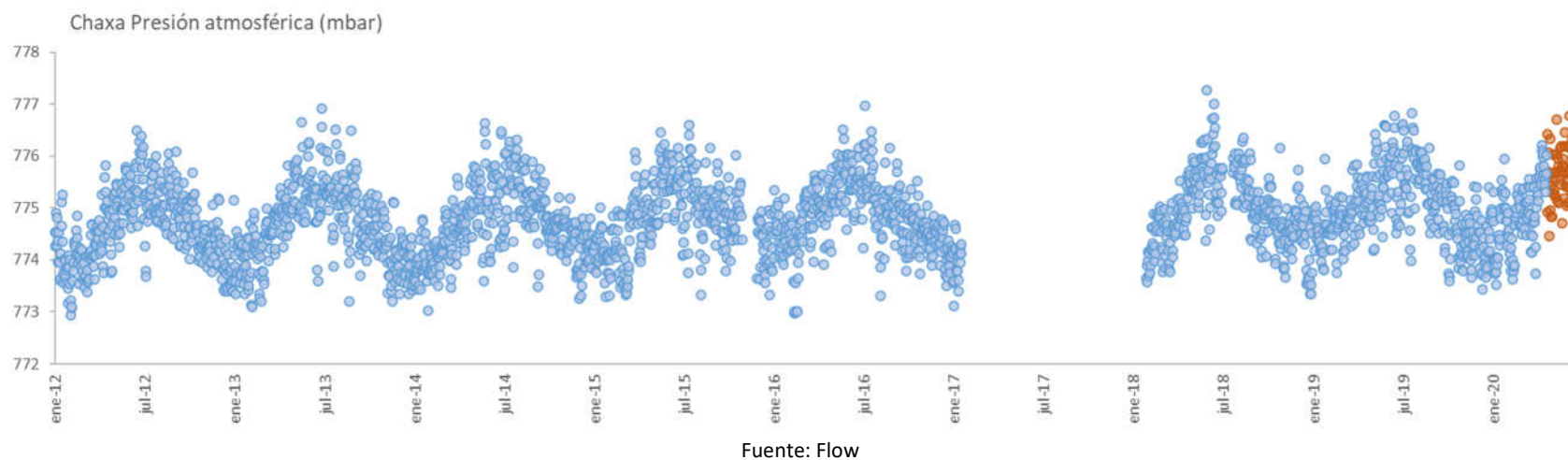


Figura 3-13: Serie de tiempo de la presión atmosférica Chaxa, desde enero 2012 hasta junio 2020, incluyendo datos medidos y rellenados

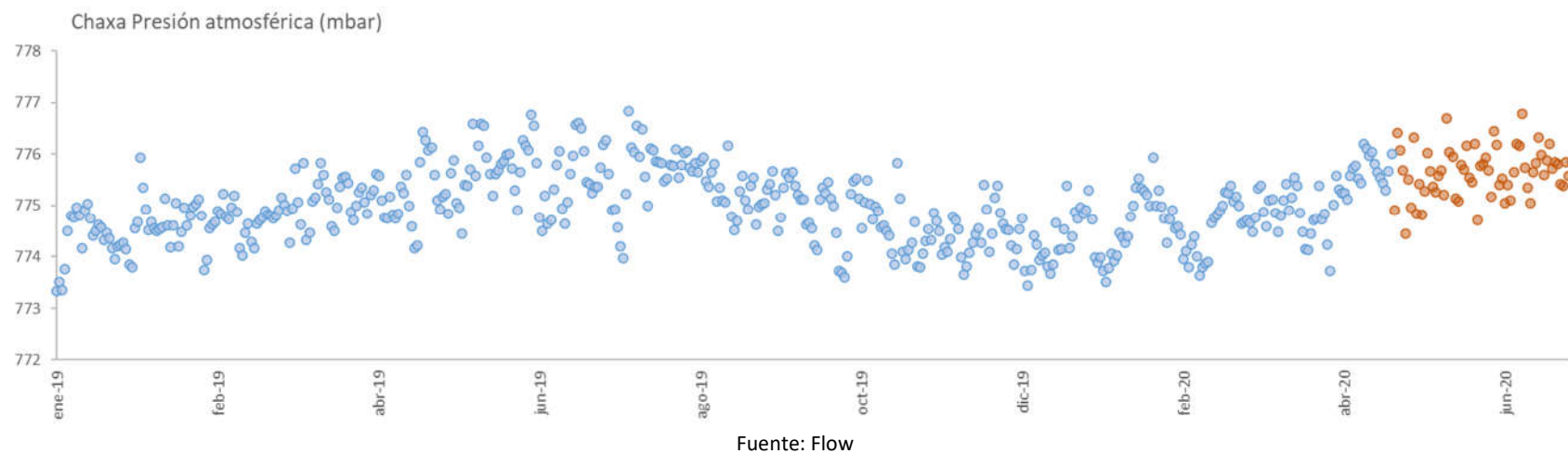


Figura 3-14: Serie de tiempo de la presión atmosférica en Chaxa, desde enero 2019 hasta junio 2020, incluyendo datos medidos y rellenados

3.3 Relleno valores nulos

3.3.1 Precipitación

La aplicación de la metodología de relleno de datos consideró el uso de la información histórica de las estaciones Chaxa, KCL y SOP para generar el relleno de valores nulos (ceros) en la estación Chaxa cuando las estaciones KCL y SOP registraron valor igual a cero bajo cierta probabilidad de ocurrencia. La Tabla 3-9 presenta la cantidad de casos observados en que ambas estaciones presentan valor cero.

Tabla 3-9: Datos calculados para la probabilidad de precipitación en el relleno de Chaxa

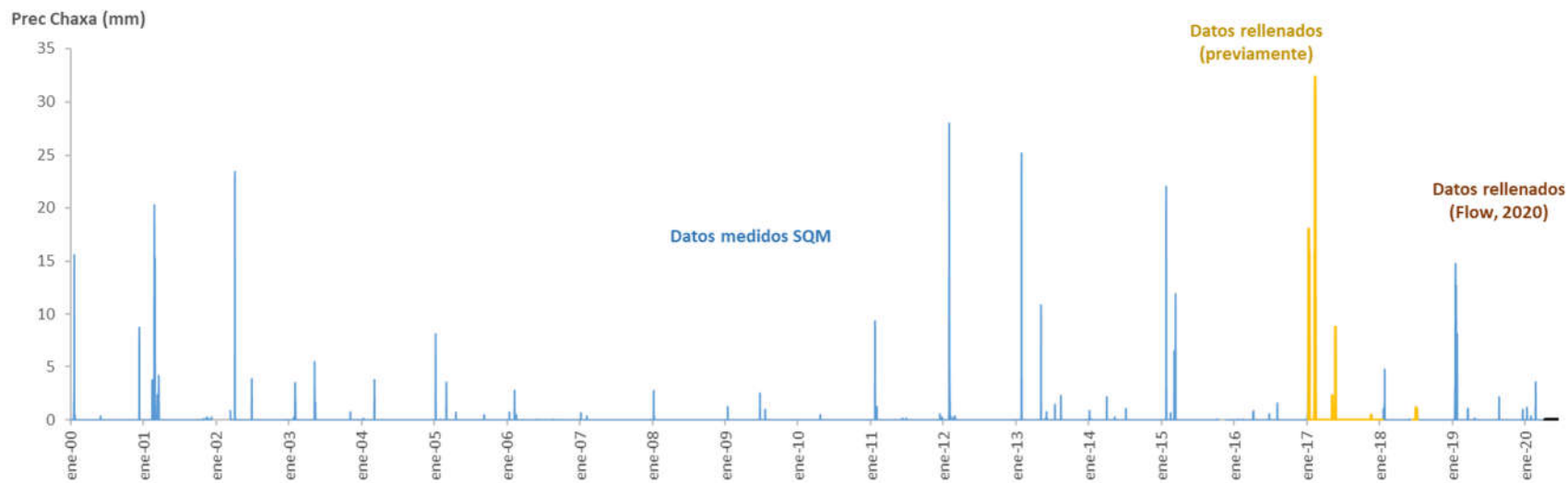
Parámetro	Chaxa/KCL	Chaxa/SOP
Casos totales (ambas estaciones registran)	7.300	3.092
Ambas estaciones registran valor igual a cero	7.060	2.977
Porcentaje a través del cociente de casos favorables	97%	96%

Según los resultados presentados en la Tabla 3-9 y basados en la información histórica, cuando KCL y SOP registraron valor igual a cero, con un 97% y 96% de probabilidad Chaxa también registró valor igual a cero (probabilidad empírica). En el caso contrario, según Tabla 3-10, la probabilidad que Chaxa haya sido mayor a cero mientras que KCL y SOP fueron igual a cero es de 2%.

Tabla 3-10: Valores de los parámetros y estadísticos ajustados en la regresión para el relleno de Chaxa

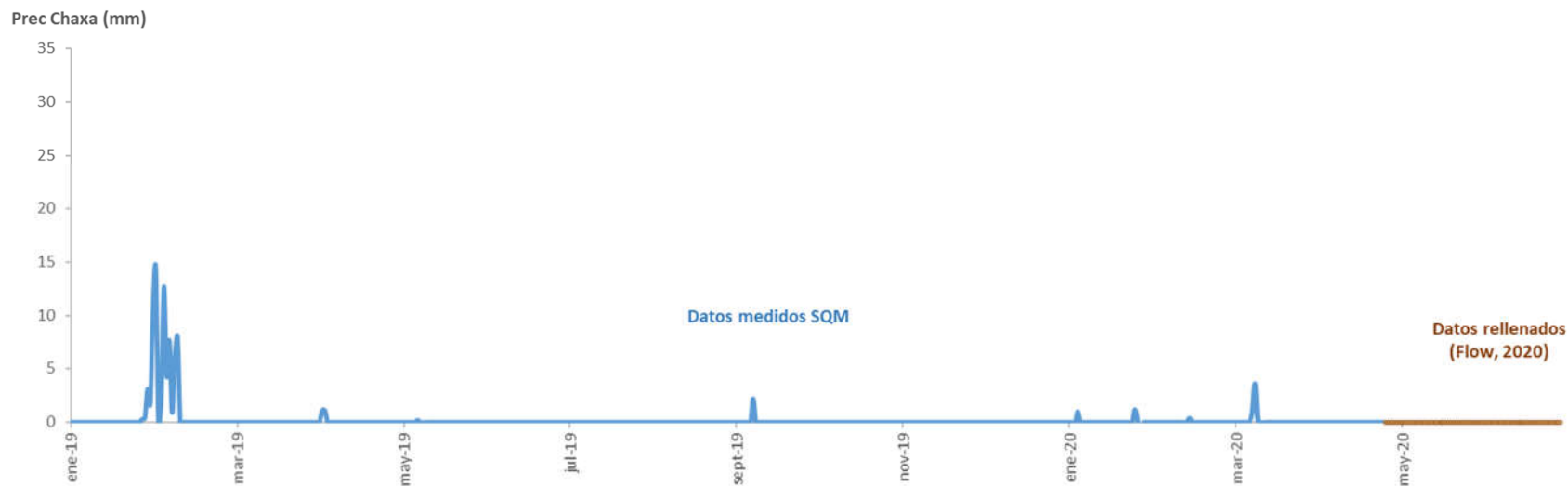
Parámetro	Chaxa/KCL	Chaxa/SOP
Casos totales (ambas estaciones registran)	7.300	3.092
Casos Chaxa mayor a cero y estación vecina igual a cero	136	64
Porcentaje a través del cociente de casos favorables	2%	2%

Según los resultados anteriores y dado que SOP y KCL han registrado valores nulos en el periodo comprendido entre el 27 de abril de 2020 y el 30 de junio de 2020 (periodo a rellenar), con un 96,5% de probabilidad se calcula que la precipitación en la estación Chaxa en el periodo a rellenar fue igual a cero. La serie resultante se presenta en la Figura 3-15, en un periodo desde enero del 2000 hasta junio del 2020, y en la Figura 3-16 en un periodo desde enero de 2019 hasta junio del 2020.



Fuente: Flow

Figura 3-15: Serie de tiempo de la precipitación Chaxa, desde enero 2000 hasta junio 2020, incluyendo datos medidos y rellenados



Fuente: Flow

Figura 3-16: Serie de tiempo de la precipitación en Chaxa, desde enero 2019 hasta junio 2020, incluyendo datos medidos y rellenados

3.4 Repetición observaciones previas

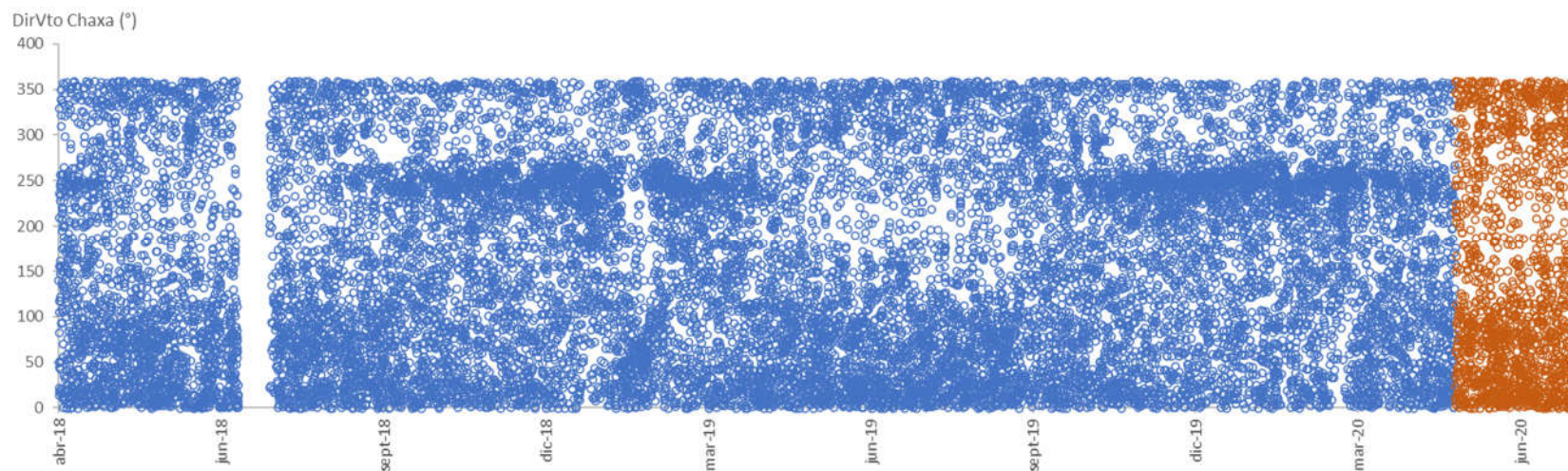
3.4.1 Dirección del viento

La aplicación de la metodología de relleno de datos consideró el uso de la información histórica de la estación Chaxa para completar el periodo faltante. La metodología consistió en generar una búsqueda aleatoria del valor del día en los mismos valores reportados durante los dos años anterior 2018 y 2019. La serie resultante de aplicar este procedimiento se presenta en la Figura 3-17, en un periodo desde enero del año 2018 hasta junio del año 2020, y en la Figura 3-18 en un periodo desde enero del año 2019 hasta junio del año 2020. Las dos escalas permiten apreciar la similitud de los datos rellenados en relación con la serie histórica. Una verificación de esta similitud se ve en los estadísticos de datos medidos y estimados que se presenta en la Tabla 3-11 para la serie dividida en dos periodos hasta el último año. Las diferencias menores al 10% hablan de una correcta reproducción de las características, en las magnitudes y dispersión de la dirección del viento.

Tabla 3-11: Estadísticos de las series original y rellenada para comparar su similitud. Variable dirección del viento.

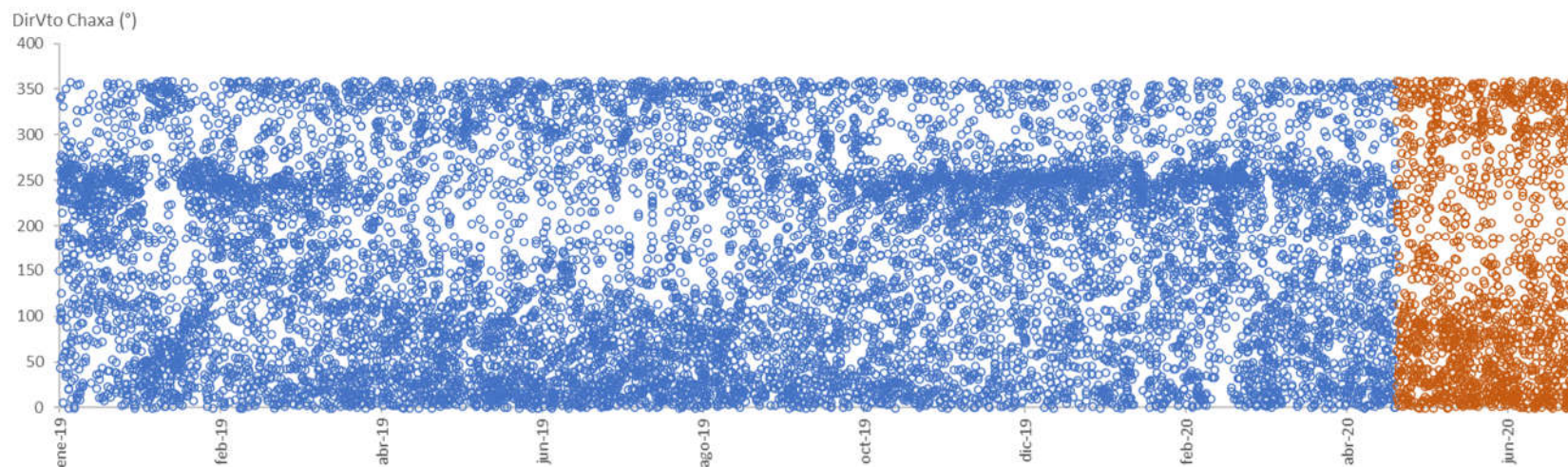
	Periodo		
	Ene18—may20	Jun19 – may20	Diferencia
Promedio (°)	157,9	162,5	2,9%
Desviación Estándar (°)	110,8	110,1	-0,7%

Fuente: Flow



Fuente: Flow

Figura 3-17: Serie de tiempo de la dirección del viento en Chaxa, desde enero 2018 hasta junio 2020, incluyendo datos medidos y rellenados



Fuente: Flow

Figura 3-18: Serie de tiempo de la dirección del viento en Chaxa, desde enero 2019 hasta junio 2020, incluyendo datos medidos y rellenados

4 RESUMEN Y CONCLUSIONES

- Flow ha conseguido rellenar el registro de temperatura del aire, humedad relativa, velocidad del viento, dirección del viento, presión atmosférica y precipitación de la estación Chaxa, en un periodo de 36 días (27 de abril al 30 de junio de 2020).
- A partir del requerimiento se evaluó la información disponible y se llevó a cabo un control de calidad (QA/QC), descartando los datos que la evidencia estadística indica como no validados sólo para la variable presión atmosférica.
- Los datos filtrados fueron analizados estadísticamente, entendiendo su distribución y correlación en estaciones vecinas, lo que permite aplicar una metodología basada en esta caracterización.
- Para estimar la magnitud de las variables temperatura del aire, humedad relativa y velocidad del viento, la metodología consistió en un relleno a través de regresión lineal múltiple, que utiliza la información bien correlacionada de las estaciones KCL y SOP, ambas situadas en el Salar de Atacama. La más baja correlación se obtuvo para velocidad del viento durante el mes de abril ($R^2 = 0,51$). Si bien este coeficiente se puede considerar bajo, visualmente los 4 datos generados (27 abril – 30 abril), presentan la misma magnitud y comportamiento que los datos observados durante el periodo precedente (01 abril -26 abril), catalogándose como valores esperados razonables.
- Las variables presión atmosférica y dirección del viento, que presentaron una más baja correlación entre estaciones, fueron rellenas a partir del propio registro de la estación Chaxa a través de dos métodos de distinta naturaleza.
- Dado que el objetivo del estudio es el relleno de las series de Chaxa, el comportamiento anómalo de la presión atmosférica en estaciones vecinas fue descartado sin profundizar en la causa.
- Se observó que no mejoró los resultados de correlación el dividir la dirección del viento en bloques horarios. La división por bloques fue integrada en los gráficos resultados de Anexo II.
- Respecto a la precipitación, se consideró el mismo procedimiento para el relleno de datos nulos que el presentado en DGA 2010; si se observaron valores cero en estaciones vecinas, también se consideran valores cero en la estación a rellenar.
- Finalmente, la aplicación de la metodología permitió rellenar los datos de Chaxa, arrojando valores estadísticos que dan cuenta de un correcto ajuste y apropiada representación de los valores históricos. En particular, el R^2 entre los datos medidos y los estimados fue aceptable (entre 0,51 el más bajo y 0,95 el más alto), mientras que los promedios y la desviación estándar, históricos versus rellenos, siempre se mantuvo con una diferencia inferior al 10%.

5 REFERENCIAS

Box & Jenkins, 2015. Time Series Analysis Forecasting and Control.

DGA, 1986. Balance hídrico de Chile.

DGA, 2010. Actualización de la evaluación de la disponibilidad de recurso hídricos para constituir Derechos de Aprovechamiento en las Subcuencas Afluentes al Salar de Atacama. II Región. SIT 210.

DGA, 2013. Análisis de la oferta hídrica del Salar de Atacama. SDT 339.

DICTUC – DGA, 2008. SIT N° 157. Levantamiento Hidrogeológico para el Desarrollo de Nuevas Fuentes de Agua en Áreas Prioritarias de la Zona Norte de Chile, Regiones XV, I, II Y III. Etapa 1 – Informe Final Parte III. Hidrología Regional del Altiplano de Chile.

Mudelsee, M. 2019. Trend analysis of climate time series: A review of methods.

WSP, 2018a. Relleno del Registro Diario de las Variables Meteorológicas en las Estación Chaxa para el 2017. Informe Código WSP-57500-INF-HID-0001.

WSP, 2018b. Relleno del Registro Diario de las Variables Meteorológicas en las Estaciones Chaxa y KCL para 2017 y 2018 – Etapa 2. Informe Código WSP-57500-INF-HID-0002.

Flow, 2019a. Relleno de datos de evaporación de bandeja para la estación Chaxa, meses de abril hasta julio de 2019. Informe Código FLOW-REP-HID-SQM-001C.

Flow, 2019b. Relleno de datos de evaporación de bandeja para la estación Chaxa, meses de agosto hasta noviembre de 2019. Informe Código FLOW-REP-HID-SQM-002C.

Flow, 2020. Relleno de datos de evaporación de bandeja para la estación Chaxa, meses de diciembre 2019 a mayo 2020. Informe Código FLOW-REP-HID-SQM-007B.

Tukey, Jonh W (1977). Exploratory Data Analysis. Addison Wesley.

ANEXOS

ANEXO 1

Archivo digital con Base de Datos de estaciones utilizadas

ANEXO 2

Datos rellenos para la estación Chaxa
en el periodo 27 abril 2020 – 30 junio de 2020

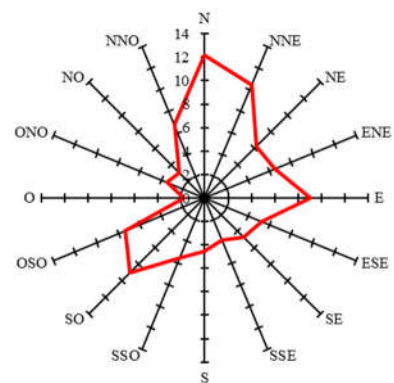
Fecha	Taire (°C)	HR (%)	VelVto (m/s)	PresAtm (mbar)	Prec (mm)
27-04-2020	15,18	17,42	1,69	774,92	0
28-04-2020	15,39	15,47	1,79	776,41	0
29-04-2020	15,52	12,95	2,33	776,07	0
30-04-2020	15,03	14,71	2,09	775,69	0
01-05-2020	13,66	9,31	1,23	774,45	0
02-05-2020	14,48	13,94	1,82	775,50	0
03-05-2020	15,46	18,55	2,85	774,96	0
04-05-2020	14,28	17,44	2,34	776,33	0
05-05-2020	13,96	14,99	1,66	774,84	0
06-05-2020	13,98	15,12	1,14	775,42	0
07-05-2020	13,94	15,57	1,44	774,83	0
08-05-2020	14,31	17,88	1,7	775,29	0
09-05-2020	14,63	19,08	1,94	776,03	0
10-05-2020	14,64	18,38	2,03	775,68	0
11-05-2020	13,92	19,5	2,41	775,36	0
12-05-2020	12,89	20,49	2,17	775,26	0
13-05-2020	11,91	23,55	1,82	775,58	0
14-05-2020	11,00	18,2	0,81	775,68	0
15-05-2020	11,18	17,44	1,14	775,21	0
16-05-2020	10,96	15,95	0,78	776,70	0
17-05-2020	12,54	15,22	1,78	776,04	0
18-05-2020	11,95	12,31	1,49	775,96	0
19-05-2020	10,93	11,94	1,45	775,13	0
20-05-2020	11,08	13,11	1,82	775,09	0
21-05-2020	11,26	16,3	2,25	775,80	0
22-05-2020	9,89	10,65	1,24	775,71	0
23-05-2020	10,77	15,82	1,39	776,16	0
24-05-2020	10,56	14,2	1	775,55	0
25-05-2020	10,28	12,14	0,87	775,45	0
26-05-2020	12,27	14,55	1,45	776,20	0
27-05-2020	11,82	13,19	1,04	774,71	0
28-05-2020	11,62	12,9	1,23	775,78	0
29-05-2020	12,26	26,74	1,73	775,82	0

Fecha	Taire (°C)	HR (%)	VelVto (m/s)	PresAtm (mbar)	Prec (mm)
30-05-2020	11,88	38,06	2,47	775,94	0
31-05-2020	12,68	44,48	3,37	775,68	0
01-06-2020	11,14	45,80	2,65	775,18	0
02-06-2020	9,14	27,73	1,92	776,46	0
03-06-2020	9,23	29,06	3,03	776,19	0
04-06-2020	8,99	27,11	6,55	775,41	0
05-06-2020	8,21	18,90	1,95	775,53	0
06-06-2020	8,68	17,65	1,26	775,04	0
07-06-2020	12,35	28,62	1,22	775,41	0
08-06-2020	12,00	34,92	1,07	775,10	0
09-06-2020	11,87	22,22	1,32	775,65	0
10-06-2020	11,75	17,65	1,57	776,19	0
11-06-2020	12,72	28,78	2,20	776,16	0
12-06-2020	12,17	38,58	1,84	776,78	0
13-06-2020	11,79	32,48	1,69	775,73	0
14-06-2020	11,39	24,79	0,80	775,35	0
15-06-2020	11,56	24,12	1,04	775,06	0
16-06-2020	12,06	23,95	1,24	775,65	0
17-06-2020	12,72	24,73	3,03	775,82	0
18-06-2020	10,57	19,93	1,04	776,32	0
19-06-2020	10,55	17,80	1,12	775,99	0
20-06-2020	10,82	18,59	1,01	775,59	0
21-06-2020	10,30	19,65	0,96	775,88	0
22-06-2020	9,76	15,75	1,15	776,21	0
23-06-2020	9,44	15,59	1,19	775,72	0
24-06-2020	11,45	17,18	2,41	775,85	0
25-06-2020	9,48	14,01	1,19	775,81	0
26-06-2020	9,24	20,30	2,11	775,43	0
27-06-2020	9,11	22,99	0,96	775,38	0
28-06-2020	9,02	23,69	1,71	775,85	0
29-06-2020	9,20	21,32	2,72	775,58	0
30-06-2020	7,32	22,58	1,47	775,84	0

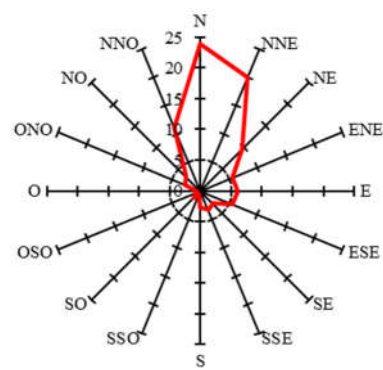
Dirección del viento

DirVto (°)	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
27-04-2020	62,8	347,1	218,0	245,9	315,9	12,2	25,4	359,6	8,2	35,8	204,9	224,9	217,3	224,6	216,9	211,0	149,5	167,3	93,3	113,7	3,5	252,5	39,1	45,1
28-04-2020	60,7	16,5	40,2	155,4	28,6	68,5	359,9	345,1	68,5	94,6	98,1	76,7	291,9	269,1	74,6	85,1	74,5	40,9	36,7	331,5	281,0	246,3	102,5	55,5
29-04-2020	56,0	14,0	10,3	336,3	13,1	2,0	351,9	16,7	44,5	12,4	333,3	200,0	314,1	224,6	101,7	108,4	112,0	92,7	105,4	224,6	337,0	204,3	152,6	126,5
30-04-2020	358,5	29,3	4,2	356,7	19,1	350,9	297,7	318,6	52,3	63,8	82,7	246,0	193,7	193,7	213,7	123,6	73,0	98,6	61,9	21,9	278,6	258,5	300,5	42,1
01-05-2020	75,1	11,0	12,4	6,0	314,8	50,5	9,7	4,5	331,0	334,2	76,3	346,2	112,0	82,0	75,1	180,1	91,6	66,4	71,1	356,4	299,6	288,6	114,8	22,5
02-05-2020	24,9	42,7	16,1	37,4	25,3	67,8	2,9	7,9	338,5	123,1	108,2	77,3	252,6	231,4	141,7	180,4	158,0	101,1	70,4	282,8	311,1	270,9	215,5	33,0
03-05-2020	351,3	29,2	35,1	291,0	349,9	44,0	85,7	287,9	7,5	44,7	266,8	34,2	175,6	150,6	89,1	98,9	113,7	78,7	64,6	92,1	338,3	218,2	152,6	259,3
04-05-2020	93,1	346,3	62,9	43,0	64,9	342,8	359,8	65,8	60,8	1,4	36,7	142,3	93,1	62,3	95,8	95,5	80,8	165,9	170,7	228,7	163,4	241,9	66,9	79,6
05-05-2020	50,8	47,4	344,9	335,6	0,1	77,0	162,1	48,2	29,6	5,9	197,5	90,6	28,0	293,2	227,9	77,5	89,3	94,8	261,9	33,6	350,9	36,0	42,7	61,5
06-05-2020	335,2	340,2	8,8	359,9	359,6	6,7	99,6	74,8	358,6	350,9	86,3	172,9	179,6	34,9	155,5	356,6	43,4	172,6	92,0	93,5	8,9	258,1	82,5	104,2
07-05-2020	90,8	23,7	225,8	154,8	103,6	12,6	0,3	27,5	28,2	343,9	162,6	43,1	230,2	115,8	253,2	168,4	140,2	176,3	208,7	174,8	343,2	242,7	72,4	106,2
08-05-2020	75,8	27,8	278,8	25,3	27,9	10,7	43,2	341,4	59,1	69,3	187,5	218,7	118,2	87,5	91,0	89,3	238,3	25,0	301,8	289,0	242,5	263,3	148,6	78,1
09-05-2020	220,4	301,4	68,0	357,1	7,1	25,9	29,3	6,9	347,3	326,0	282,9	139,2	169,4	153,7	272,9	309,1	311,0	285,0	295,0	254,2	270,8	247,1	312,9	285,6
10-05-2020	257,1	27,9	119,9	30,7	53,9	39,7	165,6	9,5	0,6	8,4	127,5	166,1	153,7	142,5	338,0	95,7	106,6	338,6	311,8	291,3	296,6	347,9	112,8	27,4
11-05-2020	9,6	57,4	348,4	16,5	12,7	344,5	320,8	11,1	332,7	357,3	359,3	75,0	328,2	313,7	189,5	318,8	320,4	321,8	307,8	328,2	32,1	115,9	88,9	130,2
12-05-2020	332,9	12,5	272,0	42,4	27,0	15,2	31,8	337,3	31,8	28,6	269,1	72,9	20,4	273,3	93,1	70,0	133,0	151,8	255,5	312,9	33,7	36,0	37,7	87,3
13-05-2020	344,6	258,1	87,1	60,7	359,0	67,9	119,2	5,0	30,7	8,6	39,7	337,0	222,8	87,9	117,1	95,3	93,6	148,7	207,6	291,9	311,5	82,0	78,9	81,1
14-05-2020	74,5	354,8	107,9	41,5	13,0	7,1	11,1	359,5	15,5	10,2	41,9	81,9	21,5	94,6	98,8	149,9	188,3	204,7	227,8	294,3	37,0	23,3	86,9	106,0
15-05-2020	85,5	353,0	220,7	7,8	358,3	0,4	341,3	330,5	24,3	66,0	67,3	1,6	264,2	87,2	73,6	156,7	140,7	108,4	124,0	32,7	340,1	133,8	95,7	99,7
16-05-2020	92,7	16,8	300,2	67,0	46,7	52,0	13,0	360,0	47,1	46,9	297,2	236,1	75,3	146,3	77,9	124,6	99,7	88,7	197,5	295,9	310,5	339,1	17,4	81,5
17-05-2020	54,4	47,2	19,7	31,5	55,8	64,2	309,4	339,1	10,4	25,8	38,6	96,4	73,5	262,1	97,2	103,7	86,9	76,0	182,7	164,0	220,8	201,0	55,2	72,2
18-05-2020	70,7	33,2	61,5	9,4	46,0	33,1	77,0	1,9	358,7	16,0	328,4	101,0	68,1	183,4	89,8	110,6	75,2	162,7	142,7	184,7	221,4	209,8	91,5	111,8
19-05-2020	33,1	44,6	44,1	84,1	47,5	323,2	20,7	9,2	345,6	17,9	36,7	98,4	250,8	80,1	189,7	81,7	6,5	55,1	329,5	4,9	310,7	176,3	10,6	80,0
20-05-2020	40,6	344,6	31,5	21,6	57,6	45,7	353,0	352,5	32,4	5,2	345,0	62,9	109,1	216,6	296,1	313,5	95,1	312,5	41,8	2,4	241,0	68,1	52,5	95,0
21-05-2020	80,4	335,4	56,1	25,3	21,6	325,9	8,5	4,0	12,4	43,3	149,5	202,9	203,8	68,4	118,2	85,5	81,3	308,5	52,5	300,7	211,6	278,4	61,1	65,0
22-05-2020	118,4	76,9	18,3	28,7	31,8	325,2	43,3	9,2	16,8	12,8	44,1	71,6	57,2	71,0	105,8	264,8	105,5	305,2	320,1	326,1	25,3	89,3	54,8	113,7
23-05-2020	30,0	5,4	133,5	34,5	188,8	12,5	52,0	352,3	7,8	49,7	2,9	236,7	77,6	85,0	105,8	79,4	98,2	80,1	68,8	246,1	333,8	10,6	25,3	38,5
24-05-2020	254,2	13,0	305,3	25,6	29,2	352,8	15,7	354,7	356,3	356,5	265,7	99,5	76,6	86,7	82,5	130,9	88,2	113,6	235,8	259,0	44,0	64,7	3,3	78,1
25-05-2020	6,8	310,7	61,6	348,9	6,0	354,9	12,3	7,1	8,1	28,7	24,0	16,5	244,3	150,6	283,2	180,4	6,8	288,9	27,3	302,9	310,7	343,5	25,0	12,7
26-05-2020	76,2	308,5	111,9	20,6	6,8	2,0	357,5	334,9	127,7	345,0	58,8	185,9	113,9	97,4	74,5	345,1	86,0	126,8	199,1	302,3	231,1	13,9	71,2	68,5
27-05-2020	44,0	13,6	120,9	89,9	323,6	307,4	339,4	357,2	321,9	351,5	297,7	314,1	319,0	118,4	102,6	304,2	311,4	236,9	317,7	325,8	323,5	299,3	223,0	243,8
28-05-2020	52,6	7,9	179,7	22,5	139,5	308,6	357,4	325,4	14,8	33,5	317,4	206,1	81,3	136,9	161,6	121,0	107,8	120,9	83,4	102,3	333,6	254,8	253,3	34,0

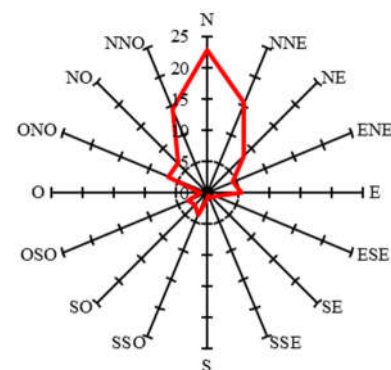
DirVto (°)	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
29-05-2020	100,0	337,4	72,2	25,3	43,8	18,1	7,5	16,4	37,2	265,1	46,9	54,2	202,8	101,9	83,8	159,5	103,8	101,2	289,1	52,5	47,1	234,9	285,7	41,5
30-05-2020	157,7	97,4	8,1	34,4	22,6	74,6	121,8	50,3	15,6	10,5	48,4	62,7	271,4	84,0	116,4	263,4	83,3	312,1	23,7	316,0	285,1	305,1	155,6	8,3
31-05-2020	79,8	164,8	228,3	204,1	5,0	2,7	11,4	22,3	343,3	48,9	312,5	235,8	149,2	187,6	129,5	106,9	181,0	158,2	87,7	15,9	347,4	328,8	53,1	45,7
01-06-2020	42,9	36,8	18,3	41,4	354,3	353,1	20,3	343,7	31,2	6,8	54,1	114,5	80,6	113,9	97,3	158,0	145,9	116,8	80,2	324,5	343,7	144,0	117,4	101,6
02-06-2020	75,2	32,2	91,1	24,6	39,2	40,0	319,5	68,5	12,8	18,4	134,6	307,5	259,9	247,7	74,7	134,3	113,1	114,1	256,2	59,5	314,8	65,2	347,4	186,6
03-06-2020	66,9	335,7	25,4	12,7	10,5	37,4	63,7	336,3	33,9	24,1	66,8	304,9	12,2	2,7	93,7	81,2	74,7	350,9	50,0	12,3	23,0	86,4	54,6	305,6
04-06-2020	33,1	19,2	21,0	15,3	278,5	27,8	20,8	20,5	9,9	333,6	122,3	271,0	260,7	345,7	83,8	67,6	91,2	85,7	74,1	358,3	14,6	73,7	29,2	343,3
05-06-2020	3,6	96,3	17,0	349,4	7,9	13,4	14,1	34,0	29,7	352,8	47,0	35,9	37,0	114,7	100,7	150,4	82,1	100,5	34,7	116,0	345,5	56,9	8,3	235,0
06-06-2020	348,6	351,8	29,1	339,0	4,0	30,4	31,2	352,9	357,8	13,9	56,4	342,9	130,0	69,7	285,6	73,7	160,7	76,5	247,3	260,2	53,0	61,9	356,6	43,9
07-06-2020	359,9	49,3	127,2	350,6	11,7	11,1	335,3	14,5	16,9	341,8	341,0	339,9	338,1	83,4	64,5	46,9	94,1	76,6	337,0	81,0	81,6	8,9	32,5	19,3
08-06-2020	6,9	25,4	9,3	6,6	13,7	29,2	9,6	12,5	340,3	3,6	32,5	106,9	188,1	163,6	78,2	167,2	115,4	45,6	261,3	298,3	8,7	16,8	34,5	331,2
09-06-2020	299,7	309,1	21,1	71,4	51,4	331,3	12,2	37,1	12,6	17,3	338,3	222,0	100,5	251,4	110,0	76,9	267,5	308,7	300,1	282,9	281,7	70,8	32,0	209,2
10-06-2020	100,5	277,1	16,9	48,1	334,9	175,9	354,5	245,8	9,6	1,3	303,9	278,2	156,0	87,6	94,2	309,0	303,3	154,8	162,8	318,2	336,2	22,6	4,3	357,5
11-06-2020	340,1	249,5	96,3	36,6	329,3	23,4	345,7	12,7	13,7	1,8	46,3	237,5	233,3	79,1	63,9	306,5	136,4	295,8	185,4	21,3	1,3	314,1	321,0	180,3
12-06-2020	96,2	120,2	63,7	345,3	315,2	289,6	59,4	43,7	316,1	350,0	307,1	100,1	193,7	109,0	120,5	150,6	286,2	298,9	165,7	293,6	280,0	5,4	90,3	26,0
13-06-2020	95,9	339,0	114,5	162,2	346,0	307,2	24,9	348,5	350,3	0,6	92,6	108,2	95,2	112,5	109,1	133,9	293,2	63,7	169,0	306,3	58,6	203,6	74,3	150,8
14-06-2020	134,3	161,0	189,8	250,7	147,1	112,6	17,2	328,5	23,4	13,2	41,4	65,8	164,2	116,3	80,6	35,9	355,6	147,3	42,7	127,9	72,9	345,3	45,8	350,5
15-06-2020	42,7	359,2	12,5	230,9	269,9	145,4	152,7	155,7	3,5	87,5	356,6	2,9	12,6	97,4	139,1	359,4	0,3	115,3	220,6	300,0	203,9	158,3	125,6	42,4
16-06-2020	49,6	58,0	18,9	6,5	2,7	233,9	72,9	359,3	331,0	337,8	4,0	250,3	111,4	130,0	176,9	77,1	80,2	257,5	19,4	6,6	310,3	305,1	7,4	6,9
17-06-2020	82,0	79,4	287,6	209,8	154,7	182,3	31,0	4,4	349,6	12,7	295,2	342,1	148,0	96,8	83,6	267,9	83,1	311,0	85,9	230,3	276,5	118,8	73,3	31,4
18-06-2020	1,9	39,8	66,8	23,3	348,5	357,6	10,0	32,7	16,4	11,1	310,4	343,5	349,7	336,4	103,7	123,4	133,0	126,9	255,4	346,7	50,9	56,6	31,9	300,7
19-06-2020	263,0	335,0	34,1	13,0	332,2	18,1	7,7	34,0	357,5	345,6	310,6	281,2	270,5	291,7	245,2	110,3	114,3	188,7	73,3	292,3	28,5	36,6	12,1	340,0
20-06-2020	23,6	100,9	20,4	19,8	27,3	359,9	9,5	25,7	55,2	42,1	81,2	314,5	341,0	154,1	72,5	68,5	74,3	94,3	262,4	105,6	63,6	46,8	3,1	328,1
21-06-2020	330,0	59,4	3,7	345,6	7,8	104,8	15,1	9,8	2,1	23,9	94,1	49,6	35,2	79,8	80,4	162,4	184,8	104,5	86,3	303,7	147,1	83,6	18,4	333,0
22-06-2020	8,0	6,7	48,2	57,3	306,3	335,8	8,9	18,2	0,4	32,1	325,5	235,9	272,6	244,4	246,2	83,9	70,0	42,5	352,0	341,3	334,2	137,9	112,1	309,2
23-06-2020	85,6	29,4	14,4	31,4	31,5	353,1	316,6	11,2	31,5	358,1	343,6	78,4	141,0	143,0	120,2	118,6	356,0	162,3	227,8	37,7	269,9	315,6	93,5	97,7
24-06-2020	50,4	134,8	54,7	23,4	346,3	336,8	352,4	2,5	38,3	317,2	194,0	223,4	114,4	125,3	258,2	89,1	125,5	313,9	243,7	291,5	111,4	275,7	157,4	154,5
25-06-2020	130,4	95,9	303,4	41,8	343,0	49,8	315,2	205,7	18,7	13,6	353,2	272,2	180,3	152,4	173,9	79,3	115,3	135,7	293,5	306,3	324,4	284,9	63,2	115,1
26-06-2020	38,2	41,2	40,5	24,4	49,9	49,0	350,4	347,5	7,6	53,1	162,1	177,3	68,4	300,0	112,7	71,9	160,7	169,9	293,0	296,6	89,1	59,6	45,2	1,4
27-06-2020	314,9	10,4	3,8	15,2	53,4	6,3	6,9	17,8	0,2	10,8	304,7	273,1	223,4	117,4	149,3	173,3	158,0	87,9	75,0	56,6	3,3	16,1	66,6	75,6
28-06-2020	89,1	30,5	12,2	7,8	52,7	351,0	11,8	16,6	354,3	7,8	2,1	14,4	329,9	128,9	136,1	31,5	158,5	339,5	303,0	309,0	298,7	299,9	327,3	335,5
29-06-2020	343,6	329,2	331,0	323,1	131,9	109,7	62,8	29,3	359,6	2,0	24,2	45,8	62,6	192,6	302,4	284,4	187,1	263,2	262,7	359,3	250,4	70,8	56,8	39,5
30-06-2020	16,9	336,3	91,6	49,8	57,3	358,4	336,4	13,0	4,7	20,3	86,5	215,4	267,9	165,4	99,2	145,3	128,0	110,9	140,0	45,9	341,2	300,7	262,9	56,6



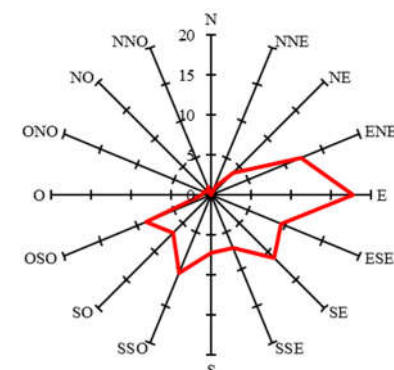
Intervalo de 0:00 a 24:00 hrs - abr



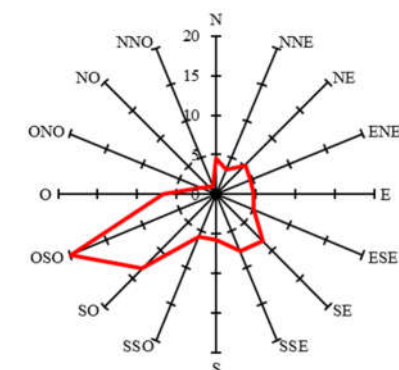
Intervalo de 0:00 a 6:00 hrs - abr



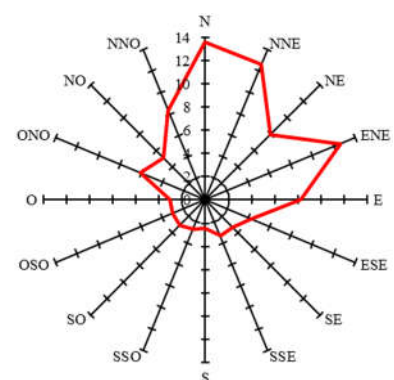
Intervalo de 6:00 a 12:00 hrs - abr



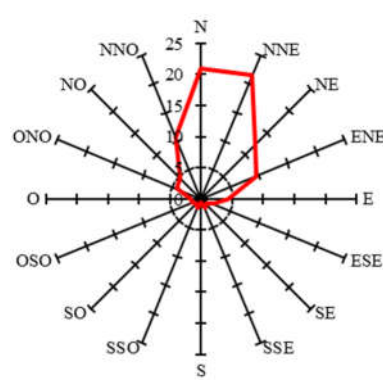
Intervalo de 12:00 a 18:00 hrs - abr



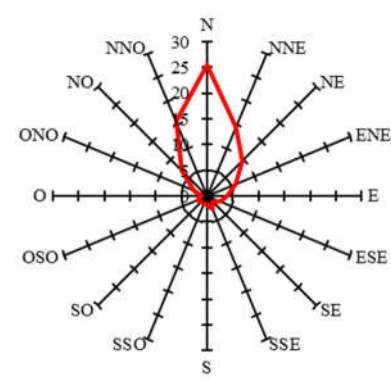
Intervalo de 18:00 a 24:00 hrs - abr



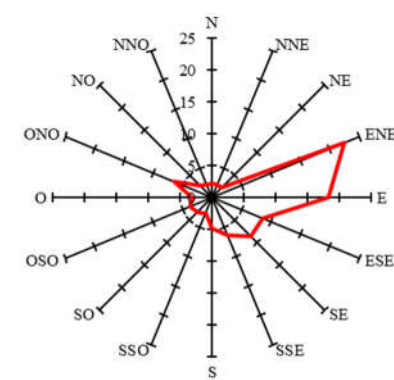
Intervalo de 0:00 a 24:00 hrs - may



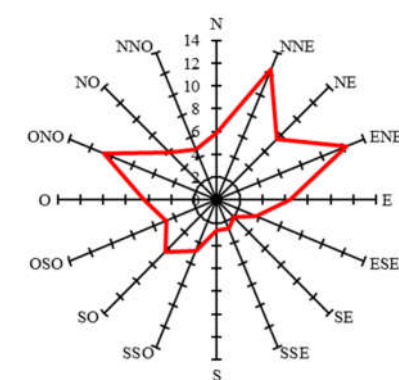
Intervalo de 0:00 a 6:00 hrs - may



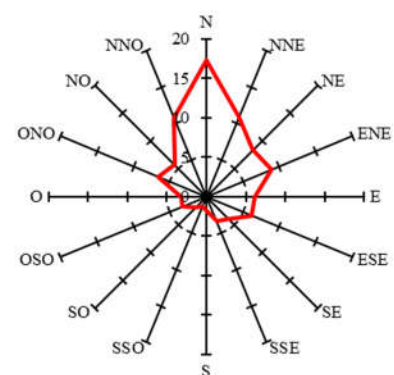
Intervalo de 6:00 a 12:00 hrs - may



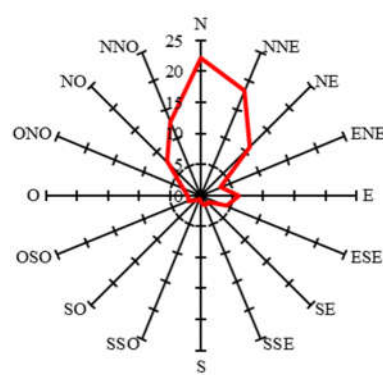
Intervalo de 12:00 a 18:00 hrs - may



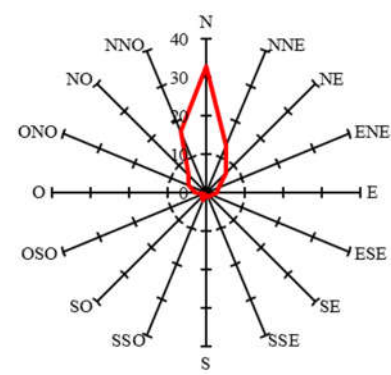
Intervalo de 18:00 a 24:00 hrs - may



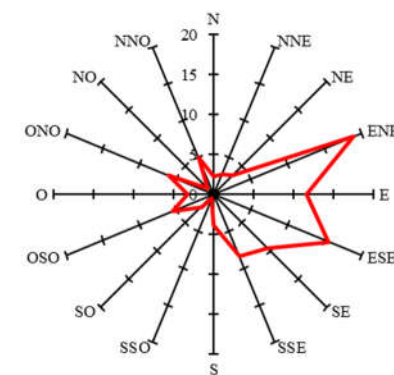
Intervalo de 0:00 a 6:00 hrs - jun



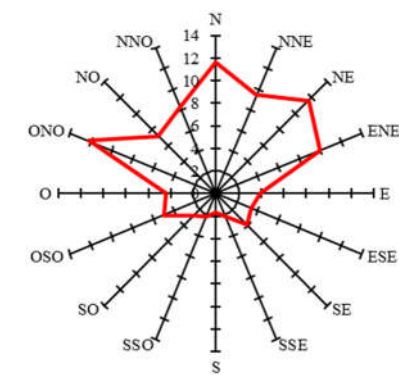
Intervalo de 0:00 a 6:00 hrs - jun



Intervalo de 6:00 a 12:00 hrs - jun



Intervalo de 12:00 a 18:00 hrs - jun



Intervalo de 18:00 a 24:00 hrs - jun

Figura Anexo II. Rosa de viento. Periodo abril 2020 – junio 2020 (gráficos abril consideran datos de observaciones y rellenados entre 01 abril – 30 abril)



Solutions
for human
progress

Relleno de datos de evaporación de bandeja en estación Chaxa mes de junio 2020

Apoyo al desarrollo de informe de PSAH

Revisión A

Grupo de Sostenibilidad y Conceptualización
de Recursos Hídricos

Memo para:	Recursos Hídricos y Medio Ambiente
De:	Carolina Huichaquelén
Revisado Por:	Marcia Álamos
Fecha:	07 de agosto, 2020

1 Introducción

En el presente documento se resume el trabajo desarrollado para rellenar la serie de evaporación de la estación Chaxa en el periodo junio 2020. La estación Chaxa desde el año 2019 ha presentado problemas con la bandeja de evaporación debido a dificultades para ingresar a la estación, lo que ha impedido el llenado de las bandejas y, por ende, el correcto funcionamiento del equipo. El 27 de mayo del presente año se realizó el llenado de la bandeja, sin embargo, el equipo presentó inconvenientes con la batería y los valores existentes en la actualidad no cumplen con el requerimiento mínimo de datos para los cálculos diarios, por lo cual, se realiza una extensión de la labor realizada por la empresa Flow consistente en el relleno de datos, utilizando estaciones ubicadas en el Salar. En la Figura 1, se observa la estación Chaxa y las estaciones meteorológicas utilizadas para el relleno (KCL y SOP).

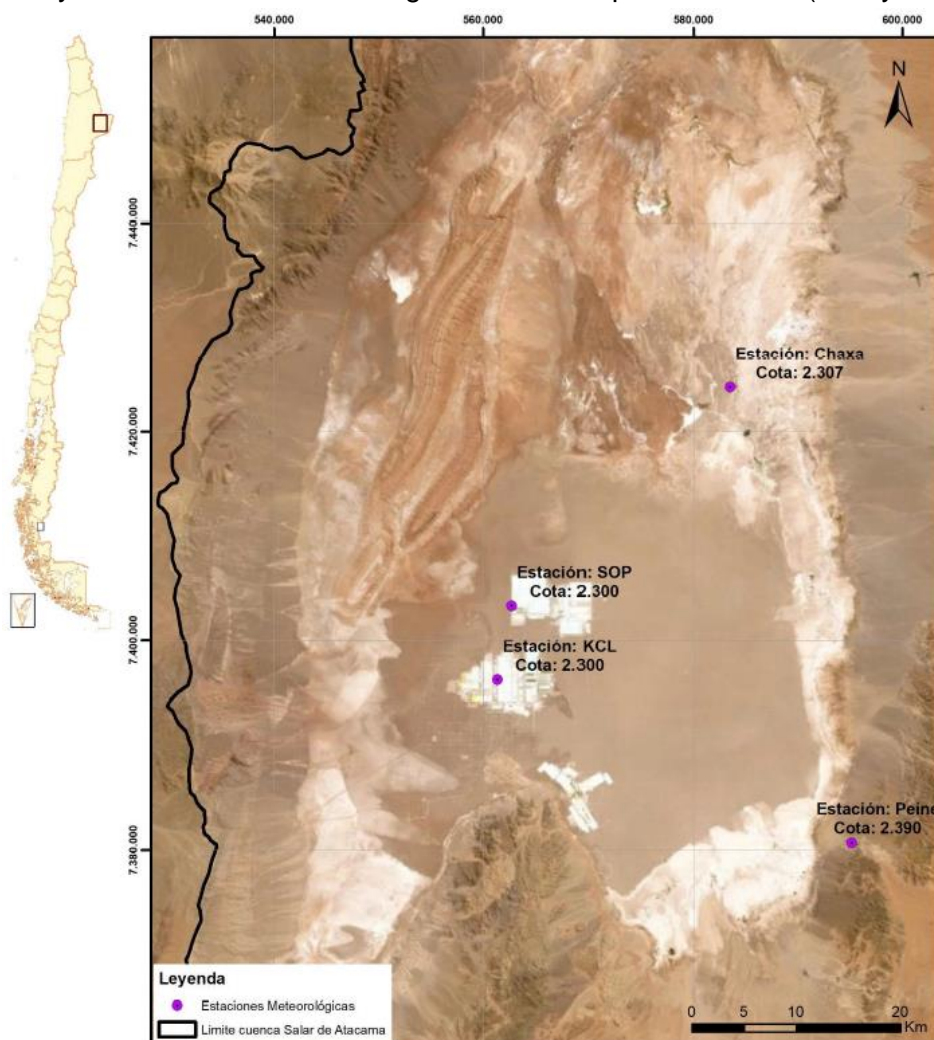


Figura 1. Ubicación estaciones meteorológicas de interés (cota msnm). Fuente: Flow, 2020.

2 Metodología

El relleno de datos se realiza para el mes de junio 2020, de manera complementaria a lo realizado por la empresa Flow, quien realizó el relleno de datos de evaporación para el periodo abril – junio, agosto – noviembre 2019 y diciembre 2019 – mayo 2020 (reportes técnicos de 8 octubre 2019, 27 enero de 2020 y 9 junio 2020), en la estación Chaxa. Dicha estación cuenta con 20 años de información, la cual fue previamente validada mediante la revisión de datos y control de calidad de éstos.

Cabe destacar que, el 4 de junio de 2020, SQM realizó el relleno de datos del mes de diciembre 2019, lo que al compararlo con la última base de datos entregada por Flow se observa una diferencia en dicho periodo respecto al trabajo del consultor, cuyo orden es equivalente al de la variable aleatoria. Por lo tanto, para tener consistencia con la información presentada en los informes de PSAH, se decide considerar sólo el relleno de datos de enero a mayo 2020 estimado por Flow.

Para el relleno de datos se aplicó la misma metodología utilizada por Flow, cuyo objetivo consiste en contar con un trabajo hecho bajo las mismas condiciones. El consultor utiliza un modelo de regresión lineal múltiple (DICTUC – DGA, 2008), considerando las estaciones KCL y SOP, ya que éstas presentan una mejor correlación histórica con la estación Chaxa (0,83 y 0,78, respectivamente). Finalmente, la ecuación utilizada en el último reporte técnico de Flow para la regresión corresponde a:

$$Ev.Chaxa_i = 0,534 \cdot Ev.KCL_i + 0,375 \cdot Ev.SOP_i + 1,15 \cdot \varepsilon_i$$

Donde $Ev.Chaxa_i$ es la evaporación estimada en Chaxa (mm/d) en el día i , $Ev.KCL_i$ es la evaporación de la estación KCL en el día i , $Ev.SOP_i$ es la evaporación de la estación SOP en el día i y ε_i es la variable aleatoria normal estándar en el día i .

Para la utilización de esta fórmula se realiza previamente la validación de los datos diarios de las estaciones SOP y KCL para el mes de junio 2020, a través de una herramienta de validación desarrollada por Flow para SQM durante el año 2020, en conjunto con un análisis de carácter experto. Dicha validación incluye criterios de requerimiento mínimo de datos, comparación de los valores en cada estación respecto el promedio de la variable medida en otras estaciones, la correlación entre la evaporación y las variables velocidad de viento y temperatura, así como la consistencia entre el sensor 1 y sensor 2.

De acuerdo con la revisión mencionada anteriormente, no se validan los datos de la estación SOP para los días 8 y 14 de junio 2020, ya que no cumplieron con 3 de los 4 criterios. Por lo tanto, fueron rellenos con el promedio de los datos de los días previo y posterior.

3 Resultados

A continuación, se presentan las series rellenadas históricas, periodo 1999 – 2020 (Figura 2), y para el periodo 2017 – 2020 (Figura 3). En rojo es posible apreciar el relleno de diciembre 2019 y junio 2020, realizados por SQM, las cuales se encuentran dentro del rango esperado y presentan un comportamiento consistente con los datos observados.

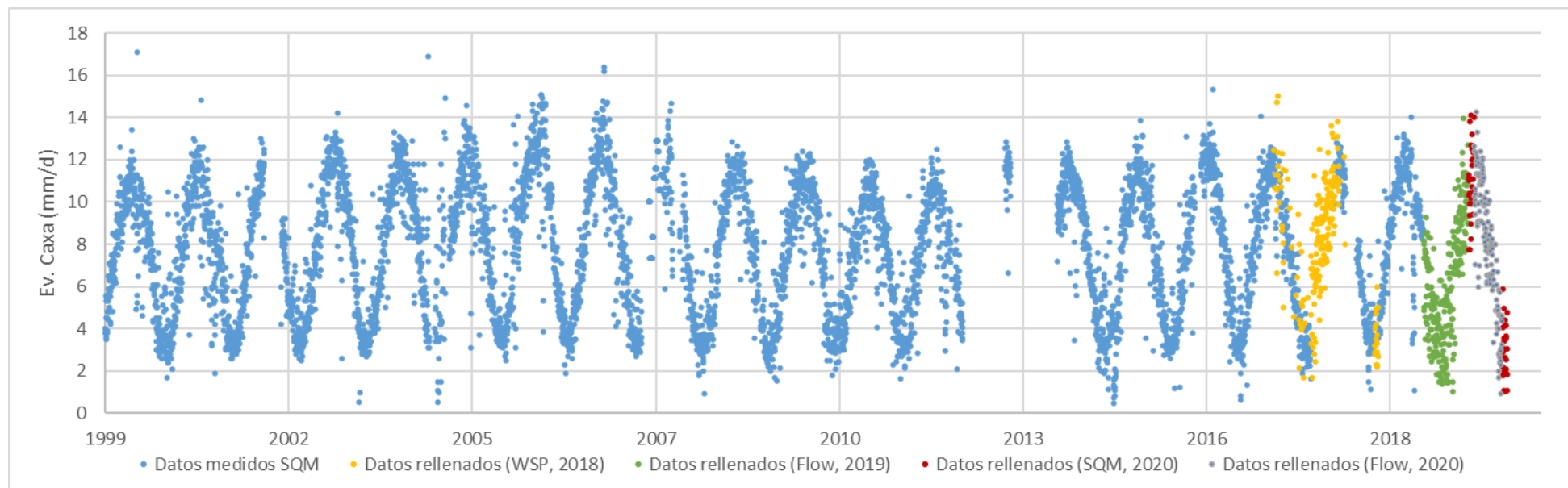


Figura 2. Serie de evaporación de tanque, incluyendo datos medidos y rellenados, periodo 1999 – 2019. Adaptado de Flow, 2020.

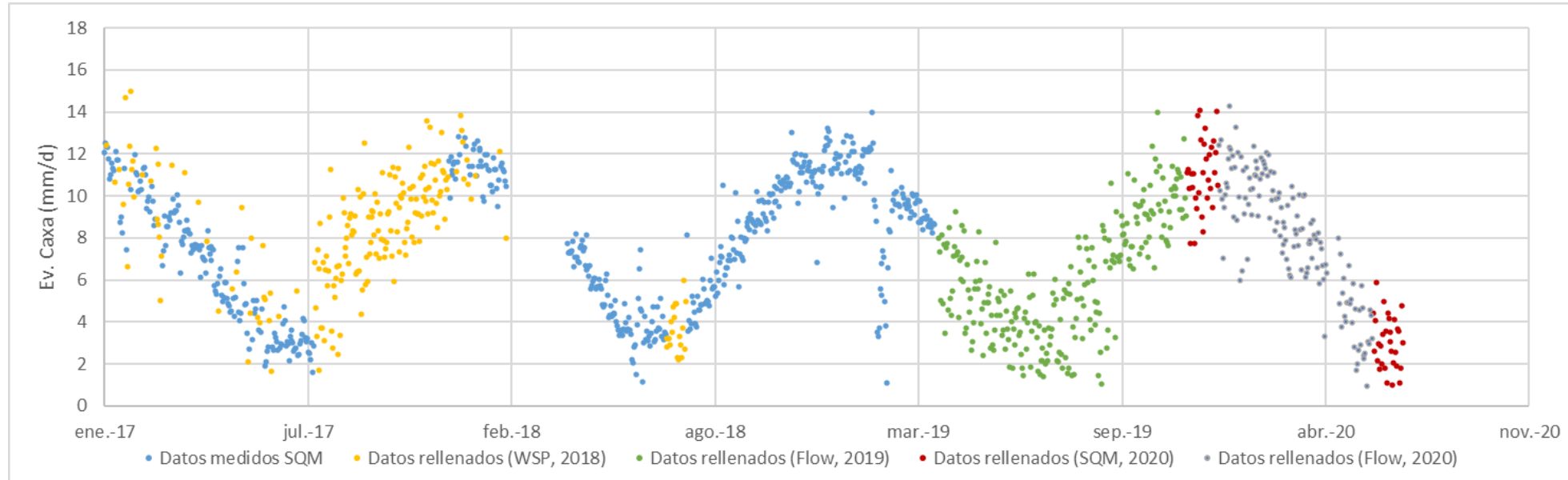


Figura 3. Serie de evaporación de tanque, incluyendo datos medidos y rellenados, periodo 2017 – 2019. Adaptado de Flow, 2020.

4 Referencias

DICTUC – DGA, 2008. SIT N° 157. Levantamiento Hidrogeológico para el Desarrollo de Nuevas Fuentes de Agua en Áreas Prioritarias de la Zona Norte de Chile, Regiones XV, I, II Y III. Etapa 1 – Informe Final Parte III. Hidrología Regional del Altiplano de Chile.

Flow (8 de octubre 2019). Relleno de datos de evaporación de bandeja para la estación Chaxa, meses de abril hasta julio de 2019.

Flow (27 de enero 2020). Relleno de datos de evaporación de bandeja para la estación Chaxa, meses de agosto hasta noviembre de 2019.

SQM (4 de junio 2020). Relleno de datos de evaporación de bandeja en estación Chaxa mes de diciembre 2019.

Flow (9 de junio 2020). Relleno de datos de evaporación de bandeja para la estación Chaxa, meses de diciembre 2019 hasta mayo de 2020.

Flow (18 de julio 2020). Metodología de validación de datos meteorológicos de estaciones SQM.



Anexo 11.2

Resultados variables meteorológicas

Estación Chaxa

Precipitación

Fecha	Precipitación (mm)
05-01-2020	1.000
26-01-2020	1.200
27-01-2020	0.100
28-01-2020	11.400
15-02-2020	0.400
09-03-2020	1.000
10-03-2020	3.600
11-03-2020	0.100

*: Solo se presentan valores mayores a 0

Temperatura

Fecha	Temperatura media (°C)	Fecha	Temperatura media (°C)	Fecha	Temperatura media (°C)	Fecha	Temperatura media (°C)	Fecha	Temperatura media (°C)	Fecha	Temperatura media (°C)
01-01-2020	20.374	01-02-2020	19.210	01-03-2020	20.477	01-04-2020	20.197	01-05-2020	13.660	01-06-2020	11.140
02-01-2020	20.170	02-02-2020	19.430	02-03-2020	20.426	02-04-2020	20.522	02-05-2020	14.480	02-06-2020	9.140
03-01-2020	20.385	03-02-2020	20.010	03-03-2020	20.184	03-04-2020	20.612	03-05-2020	15.460	03-06-2020	9.230
04-01-2020	20.107	04-02-2020	19.409	04-03-2020	20.391	04-04-2020	19.477	04-05-2020	14.280	04-06-2020	8.990
05-01-2020	19.047	05-02-2020	19.440	05-03-2020	20.941	05-04-2020	19.365	05-05-2020	13.960	05-06-2020	8.210
06-01-2020	18.399	06-02-2020	19.401	06-03-2020	21.071	06-04-2020	18.942	06-05-2020	13.980	06-06-2020	8.680
07-01-2020	18.229	07-02-2020	20.135	07-03-2020	19.741	07-04-2020	18.218	07-05-2020	13.940	07-06-2020	12.350
08-01-2020	17.663	08-02-2020	19.835	08-03-2020	19.326	08-04-2020	17.454	08-05-2020	14.310	08-06-2020	12.000
09-01-2020	18.868	09-02-2020	20.086	09-03-2020	19.336	09-04-2020	16.283	09-05-2020	14.630	09-06-2020	11.870
10-01-2020	20.122	10-02-2020	21.281	10-03-2020	17.041	10-04-2020	16.073	10-05-2020	14.640	10-06-2020	11.750
11-01-2020	22.440	11-02-2020	22.175	11-03-2020	18.079	11-04-2020	15.744	11-05-2020	13.920	11-06-2020	12.720
12-01-2020	22.171	12-02-2020	21.415	12-03-2020	18.885	12-04-2020	15.165	12-05-2020	12.890	12-06-2020	12.170
13-01-2020	21.500	13-02-2020	21.194	13-03-2020	20.359	13-04-2020	14.492	13-05-2020	11.910	13-06-2020	11.790
14-01-2020	21.283	14-02-2020	21.550	14-03-2020	20.003	14-04-2020	14.259	14-05-2020	11.000	14-06-2020	11.390
15-01-2020	21.667	15-02-2020	20.805	15-03-2020	19.934	15-04-2020	14.157	15-05-2020	11.180	15-06-2020	11.560
16-01-2020	22.072	16-02-2020	20.817	16-03-2020	19.492	16-04-2020	15.069	16-05-2020	10.960	16-06-2020	12.060
17-01-2020	24.301	17-02-2020	22.235	17-03-2020	18.729	17-04-2020	14.442	17-05-2020	12.540	17-06-2020	12.720
18-01-2020	25.163	18-02-2020	22.784	18-03-2020	17.630	18-04-2020	15.328	18-05-2020	11.950	18-06-2020	10.570
19-01-2020	23.256	19-02-2020	22.875	19-03-2020	18.329	19-04-2020	15.185	19-05-2020	10.930	19-06-2020	10.550
20-01-2020	22.141	20-02-2020	21.740	20-03-2020	18.090	20-04-2020	15.423	20-05-2020	11.080	20-06-2020	10.820
21-01-2020	21.322	21-02-2020	21.724	21-03-2020	17.876	21-04-2020	15.527	21-05-2020	11.260	21-06-2020	10.300
22-01-2020	20.337	22-02-2020	22.377	22-03-2020	18.141	22-04-2020	15.241	22-05-2020	9.890	22-06-2020	9.760
23-01-2020	20.869	23-02-2020	21.002	23-03-2020	19.417	23-04-2020	14.253	23-05-2020	10.770	23-06-2020	9.440
24-01-2020	19.821	24-02-2020	19.589	24-03-2020	19.918	24-04-2020	13.702	24-05-2020	10.560	24-06-2020	11.450
25-01-2020	21.241	25-02-2020	19.789	25-03-2020	19.177	25-04-2020	14.675	25-05-2020	10.280	25-06-2020	9.480
26-01-2020	21.717	26-02-2020	19.819	26-03-2020	18.437	26-04-2020	15.136	26-05-2020	12.270	26-06-2020	9.240
27-01-2020	20.221	27-02-2020	20.164	27-03-2020	17.261	27-04-2020	16.062	27-05-2020	11.820	27-06-2020	9.110
28-01-2020	17.112	28-02-2020	19.946	28-03-2020	17.229	28-04-2020	16.882	28-05-2020	11.620	28-06-2020	9.020
29-01-2020	16.345	29-02-2020	20.779	29-03-2020	17.869	29-04-2020	15.520	29-05-2020	12.260	29-06-2020	9.200
30-01-2020	18.450			30-03-2020	18.466	30-04-2020	15.030	30-05-2020	11.880	30-06-2020	7.320
31-01-2020	18.419			31-03-2020	19.494			31-05-2020	12.680		

Velocidad del viento

Fecha	Velocidad del viento (m/s)	Fecha	Velocidad del viento (m/s)	Fecha	Velocidad del viento (m/s)	Fecha	Velocidad del viento (m/s)	Fecha	Velocidad del viento (m/s)	Fecha	Velocidad del viento (m/s)
01-01-2020	3.070	01-02-2020	3.033	01-03-2020	3.182	01-04-2020	2.251	01-05-2020	1.230	01-06-2020	2.650
02-01-2020	3.388	02-02-2020	3.038	02-03-2020	3.067	02-04-2020	2.381	02-05-2020	1.820	02-06-2020	1.920
03-01-2020	3.382	03-02-2020	3.245	03-03-2020	3.072	03-04-2020	2.926	03-05-2020	2.850	03-06-2020	3.030
04-01-2020	4.140	04-02-2020	3.462	04-03-2020	2.981	04-04-2020	3.204	04-05-2020	2.340	04-06-2020	6.550
05-01-2020	4.562	05-02-2020	3.318	05-03-2020	3.024	05-04-2020	3.178	05-05-2020	1.660	05-06-2020	1.950
06-01-2020	4.384	06-02-2020	2.888	06-03-2020	3.182	06-04-2020	2.700	06-05-2020	1.140	06-06-2020	1.260
07-01-2020	3.425	07-02-2020	3.014	07-03-2020	3.233	07-04-2020	2.850	07-05-2020	1.440	07-06-2020	1.220
08-01-2020	3.725	08-02-2020	3.136	08-03-2020	2.977	08-04-2020	3.197	08-05-2020	1.700	08-06-2020	1.070
09-01-2020	3.050	09-02-2020	2.964	09-03-2020	3.347	09-04-2020	3.173	09-05-2020	1.940	09-06-2020	1.320
10-01-2020	3.519	10-02-2020	2.970	10-03-2020	3.541	10-04-2020	2.689	10-05-2020	2.030	10-06-2020	1.570
11-01-2020	3.639	11-02-2020	3.386	11-03-2020	2.876	11-04-2020	2.467	11-05-2020	2.410	11-06-2020	2.200
12-01-2020	3.217	12-02-2020	3.373	12-03-2020	2.509	12-04-2020	2.783	12-05-2020	2.170	12-06-2020	1.840
13-01-2020	3.433	13-02-2020	3.518	13-03-2020	2.753	13-04-2020	2.220	13-05-2020	1.820	13-06-2020	1.690
14-01-2020	3.613	14-02-2020	3.407	14-03-2020	2.807	14-04-2020	2.599	14-05-2020	0.810	14-06-2020	0.800
15-01-2020	3.374	15-02-2020	2.526	15-03-2020	2.814	15-04-2020	2.801	15-05-2020	1.140	15-06-2020	1.040
16-01-2020	2.666	16-02-2020	3.640	16-03-2020	3.269	16-04-2020	2.212	16-05-2020	0.780	16-06-2020	1.240
17-01-2020	2.922	17-02-2020	3.623	17-03-2020	2.965	17-04-2020	2.030	17-05-2020	1.780	17-06-2020	3.030
18-01-2020	3.482	18-02-2020	3.320	18-03-2020	3.013	18-04-2020	2.493	18-05-2020	1.490	18-06-2020	1.040
19-01-2020	3.113	19-02-2020	2.872	19-03-2020	2.784	19-04-2020	2.136	19-05-2020	1.450	19-06-2020	1.120
20-01-2020	3.492	20-02-2020	3.098	20-03-2020	3.201	20-04-2020	1.821	20-05-2020	1.820	20-06-2020	1.010
21-01-2020	3.426	21-02-2020	3.239	21-03-2020	3.475	21-04-2020	2.724	21-05-2020	2.250	21-06-2020	0.960
22-01-2020	3.561	22-02-2020	3.355	22-03-2020	2.308	22-04-2020	2.189	22-05-2020	1.240	22-06-2020	1.150
23-01-2020	4.555	23-02-2020	3.850	23-03-2020	2.294	23-04-2020	1.928	23-05-2020	1.390	23-06-2020	1.190
24-01-2020	2.687	24-02-2020	3.941	24-03-2020	2.938	24-04-2020	2.611	24-05-2020	1.000	24-06-2020	2.410
25-01-2020	4.135	25-02-2020	4.025	25-03-2020	2.754	25-04-2020	1.851	25-05-2020	0.870	25-06-2020	1.190
26-01-2020	4.238	26-02-2020	3.800	26-03-2020	3.066	26-04-2020	2.355	26-05-2020	1.450	26-06-2020	2.110
27-01-2020	3.347	27-02-2020	3.765	27-03-2020	2.788	27-04-2020	2.318	27-05-2020	1.040	27-06-2020	0.960
28-01-2020	3.210	28-02-2020	2.869	28-03-2020	2.582	28-04-2020	2.228	28-05-2020	1.230	28-06-2020	1.710
29-01-2020	3.570	29-02-2020	3.283	29-03-2020	2.073	29-04-2020	2.330	29-05-2020	1.730	29-06-2020	2.720
30-01-2020	3.093			30-03-2020	2.551	30-04-2020	2.090	30-05-2020	2.470	30-06-2020	1.470
31-01-2020	2.868			31-03-2020	2.483			31-05-2020	3.370		

Evaporación

Fecha	Evaporación (mm/día)	Fecha	Evaporación (mm/día)	Fecha	Evaporación (mm/día)	Fecha	Evaporación (mm/día)	Fecha	Evaporación (mm/día)	Fecha	Evaporación (mm/día)
01-01-2020	12.410	01-02-2020	10.310	01-03-2020	8.110	01-04-2020	8.700	01-05-2020	3.780	01-06-2020	4.421
02-01-2020	10.270	02-02-2020	9.090	02-03-2020	9.470	02-04-2020	7.020	02-05-2020	5.370	02-06-2020	2.616
03-01-2020	12.670	03-02-2020	10.340	03-03-2020	7.280	03-04-2020	8.840	03-05-2020	6.060	03-06-2020	4.077
04-01-2020	9.850	04-02-2020	12.380	04-03-2020	8.740	04-04-2020	8.130	04-05-2020	4.280	04-06-2020	5.895
05-01-2020	7.030	05-02-2020	11.000	05-03-2020	7.700	05-04-2020	8.010	05-05-2020	4.020	05-06-2020	2.179
06-01-2020	9.440	06-02-2020	10.950	06-03-2020	8.500	06-04-2020	7.920	06-05-2020	4.910	06-06-2020	2.953
07-01-2020	10.060	07-02-2020	11.680	07-03-2020	7.880	07-04-2020	6.590	07-05-2020	4.910	07-06-2020	1.770
08-01-2020	10.620	08-02-2020	11.330	08-03-2020	7.000	08-04-2020	8.230	08-05-2020	6.680	08-06-2020	2.885
09-01-2020	10.400	09-02-2020	9.070	09-03-2020	9.570	09-04-2020	5.850	09-05-2020	4.860	09-06-2020	1.994
10-01-2020	11.760	10-02-2020	10.030	10-03-2020	6.550	10-04-2020	7.800	10-05-2020	5.090	10-06-2020	3.415
11-01-2020	14.280	11-02-2020	10.810	11-03-2020	6.210	11-04-2020	7.480	11-05-2020	3.990	11-06-2020	4.971
12-01-2020	12.340	12-02-2020	11.800	12-03-2020	6.130	12-04-2020	6.680	12-05-2020	5.810	12-06-2020	1.815
13-01-2020	12.210	13-02-2020	11.040	13-03-2020	10.480	13-04-2020	6.030	13-05-2020	2.820	13-06-2020	3.557
14-01-2020	11.330	14-02-2020	11.650	14-03-2020	9.920	14-04-2020	3.340	14-05-2020	4.640	14-06-2020	1.089
15-01-2020	11.930	15-02-2020	11.510	15-03-2020	7.600	15-04-2020	6.750	15-05-2020	1.700	15-06-2020	4.424
16-01-2020	8.990	16-02-2020	11.320	16-03-2020	8.420	16-04-2020	6.330	16-05-2020	1.990	16-06-2020	4.168
17-01-2020	11.350	17-02-2020	12.080	17-03-2020	8.220	17-04-2020		17-05-2020	2.650	17-06-2020	3.512
18-01-2020	13.300	18-02-2020	10.970	18-03-2020	9.040	18-04-2020		18-05-2020	4.590	18-06-2020	3.047
19-01-2020	8.840	19-02-2020	11.980	19-03-2020	7.650	19-04-2020		19-05-2020	2.900	19-06-2020	2.620
20-01-2020	12.080	20-02-2020	8.960	20-03-2020	10.080	20-04-2020		20-05-2020	5.740	20-06-2020	1.009
21-01-2020	9.960	21-02-2020	11.160	21-03-2020	8.410	21-04-2020		21-05-2020	4.650	21-06-2020	2.069
22-01-2020	6.000	22-02-2020	9.800	22-03-2020	6.500	22-04-2020		22-05-2020	2.410	22-06-2020	4.144
23-01-2020	11.850	23-02-2020	10.240	23-03-2020	8.440	23-04-2020		23-05-2020	2.270	23-06-2020	2.542
24-01-2020	6.450	24-02-2020	11.110	24-03-2020	10.030	24-04-2020		24-05-2020	2.500	24-06-2020	1.895
25-01-2020	11.220	25-02-2020	8.340	25-03-2020	10.060	25-04-2020		25-05-2020		25-06-2020	3.645
26-01-2020	9.130	26-02-2020	9.860	26-03-2020	6.140	26-04-2020		26-05-2020	0.930	26-06-2020	3.547
27-01-2020	9.930	27-02-2020	8.730	27-03-2020	6.350	27-04-2020		27-05-2020	3.050	27-06-2020	1.090
28-01-2020	11.360	28-02-2020	9.930	28-03-2020	6.570	28-04-2020	8.000	28-05-2020	2.940	28-06-2020	1.825
29-01-2020	7.010	29-02-2020	10.170	29-03-2020	7.730	29-04-2020	4.860	29-05-2020	4.590	29-06-2020	4.774
30-01-2020	9.580			30-03-2020	7.720	30-04-2020	7.260	30-05-2020	4.340	30-06-2020	3.032
31-01-2020	10.850			31-03-2020	7.900			31-05-2020	3.230		

Estación KCL**Precipitación**

Fecha	Precipitación (mm)
22-01-2020	0.100
23-01-2020	0.300
10-03-2020	0.100

*: Solo se presentan valores mayores a 0

Temperatura

Fecha	Temperatura media (°C)	Fecha	Temperatura media (°C)	Fecha	Temperatura media (°C)	Fecha	Temperatura media (°C)	Fecha	Temperatura media (°C)	Fecha	Temperatura media (°C)
01-01-2020	20.703	01-02-2020	19.973	01-03-2020	21.079	01-04-2020	20.879	01-05-2020	15.557	01-06-2020	11.655
02-01-2020	20.483	02-02-2020	20.781	02-03-2020	21.045	02-04-2020	21.468	02-05-2020	15.695	02-06-2020	10.278
03-01-2020	20.560	03-02-2020	21.186	03-03-2020	21.319	03-04-2020	21.110	03-05-2020	16.703	03-06-2020	10.265
04-01-2020	20.112	04-02-2020	20.682	04-03-2020	21.528	04-04-2020	20.375	04-05-2020	15.515	04-06-2020	10.022
05-01-2020	18.823	05-02-2020	20.164	05-03-2020	22.368	05-04-2020	19.866	05-05-2020	15.602	05-06-2020	9.031
06-01-2020	18.032	06-02-2020	20.067	06-03-2020	22.076	06-04-2020	19.638	06-05-2020	15.677	06-06-2020	9.438
07-01-2020	18.231	07-02-2020	20.685	07-03-2020	21.013	07-04-2020	19.624	07-05-2020	15.736	07-06-2020	13.034
08-01-2020	18.755	08-02-2020	20.440	08-03-2020	20.354	08-04-2020	18.832	08-05-2020	15.709	08-06-2020	13.238
09-01-2020	19.596	09-02-2020	20.593	09-03-2020	21.326	09-04-2020	18.126	09-05-2020	15.682	09-06-2020	12.707
10-01-2020	20.466	10-02-2020	21.825	10-03-2020	19.384	10-04-2020	17.659	10-05-2020	16.022	10-06-2020	12.978
11-01-2020	22.441	11-02-2020	22.881	11-03-2020	19.916	11-04-2020	17.157	11-05-2020	15.384	11-06-2020	13.842
12-01-2020	23.040	12-02-2020	21.919	12-03-2020	20.100	12-04-2020	17.080	12-05-2020	14.163	12-06-2020	13.345
13-01-2020	22.965	13-02-2020	21.756	13-03-2020	21.268	13-04-2020	15.954	13-05-2020	12.907	13-06-2020	12.562
14-01-2020	21.815	14-02-2020	21.938	14-03-2020	20.789	14-04-2020	15.811	14-05-2020	12.342	14-06-2020	12.434
15-01-2020	21.946	15-02-2020	22.319	15-03-2020	21.189	15-04-2020	15.346	15-05-2020	12.850	15-06-2020	12.297
16-01-2020	22.791	16-02-2020	21.961	16-03-2020	19.916	16-04-2020	15.899	16-05-2020	12.209	16-06-2020	13.215
17-01-2020	24.755	17-02-2020	22.332	17-03-2020	19.576	17-04-2020	15.768	17-05-2020	13.307	17-06-2020	13.639
18-01-2020	26.279	18-02-2020	22.937	18-03-2020	18.586	18-04-2020	17.096	18-05-2020	13.292	18-06-2020	11.305
19-01-2020	24.783	19-02-2020	23.113	19-03-2020	18.789	19-04-2020	16.808	19-05-2020	12.178	19-06-2020	11.368
20-01-2020	24.599	20-02-2020	22.676	20-03-2020	18.706	20-04-2020	17.091	20-05-2020	12.278	20-06-2020	11.566
21-01-2020	22.968	21-02-2020	22.120	21-03-2020	18.476	21-04-2020	17.333	21-05-2020	12.187	21-06-2020	11.117
22-01-2020	20.964	22-02-2020	21.771	22-03-2020	18.865	22-04-2020	17.233	22-05-2020	10.854	22-06-2020	10.662
23-01-2020	20.548	23-02-2020	20.870	23-03-2020	19.966	23-04-2020	16.449	23-05-2020	11.262	23-06-2020	10.524
24-01-2020	20.346	24-02-2020	19.720	24-03-2020	20.754	24-04-2020	15.492	24-05-2020	11.273	24-06-2020	11.990
25-01-2020	21.405	25-02-2020	19.720	25-03-2020	19.968	25-04-2020	16.575	25-05-2020	11.409	25-06-2020	10.145
26-01-2020	21.311	26-02-2020	19.890	26-03-2020	19.411	26-04-2020	16.908	26-05-2020	12.849	26-06-2020	10.128
27-01-2020	20.752	27-02-2020	20.140	27-03-2020	18.077	27-04-2020	17.011	27-05-2020	13.194	27-06-2020	9.525
28-01-2020	19.840	28-02-2020	20.485	28-03-2020	18.385	28-04-2020	17.131	28-05-2020	12.977	28-06-2020	9.504
29-01-2020	18.260	29-02-2020	21.085	29-03-2020	19.058	29-04-2020	16.621	29-05-2020	13.209	29-06-2020	10.362
30-01-2020	18.821			30-03-2020	19.857	30-04-2020	16.283	30-05-2020	12.659	30-06-2020	8.889
31-01-2020	19.235							31-05-2020	13.468		

Velocidad del viento

Fecha	Velocidad del viento (m/s)	Fecha	Velocidad del viento (m/s)	Fecha	Velocidad del viento (m/s)	Fecha	Velocidad del viento (m/s)	Fecha	Velocidad del viento (m/s)	Fecha	Velocidad del viento (m/s)
01-01-2020	5.433	01-02-2020	4.359	01-03-2020	4.828	01-04-2020	3.821	01-05-2020	2.253	01-06-2020	4.064
02-01-2020	5.395	02-02-2020	4.353	02-03-2020	5.043	02-04-2020	3.848	02-05-2020	1.779	02-06-2020	2.463
03-01-2020	5.517	03-02-2020	4.237	03-03-2020	4.307	03-04-2020	3.600	03-05-2020	3.290	03-06-2020	4.572
04-01-2020	5.481	04-02-2020	4.660	04-03-2020	4.466	04-04-2020	4.315	04-05-2020	2.749	04-06-2020	9.087
05-01-2020	7.223	05-02-2020	5.127	05-03-2020	3.788	05-04-2020	4.813	05-05-2020	2.375	05-06-2020	2.900
06-01-2020	5.897	06-02-2020	4.663	06-03-2020	4.747	06-04-2020	3.275	06-05-2020	1.838	06-06-2020	1.768
07-01-2020	5.916	07-02-2020	5.064	07-03-2020	4.889	07-04-2020	3.483	07-05-2020	2.038	07-06-2020	2.053
08-01-2020	5.255	08-02-2020	4.293	08-03-2020	4.840	08-04-2020	4.083	08-05-2020	2.220	08-06-2020	1.466
09-01-2020	4.147	09-02-2020	4.693	09-03-2020	4.457	09-04-2020	3.364	09-05-2020	1.910	09-06-2020	1.670
10-01-2020	4.826	10-02-2020	4.260	10-03-2020	5.169	10-04-2020	3.230	10-05-2020	2.353	10-06-2020	1.972
11-01-2020	4.697	11-02-2020	5.054	11-03-2020	3.749	11-04-2020	3.343	11-05-2020	2.817	11-06-2020	3.175
12-01-2020	4.486	12-02-2020	5.163	12-03-2020	3.289	12-04-2020	3.701	12-05-2020	3.184	12-06-2020	2.753
13-01-2020	5.103	13-02-2020	5.735	13-03-2020	4.278	13-04-2020	3.027	13-05-2020	2.566	13-06-2020	1.789
14-01-2020	5.175	14-02-2020	5.981	14-03-2020	3.984	14-04-2020	3.578	14-05-2020	1.721	14-06-2020	1.599
15-01-2020	5.234	15-02-2020	5.044	15-03-2020	3.821	15-04-2020	3.769	15-05-2020	2.240	15-06-2020	1.870
16-01-2020	4.283	16-02-2020	5.265	16-03-2020	4.224	16-04-2020	3.574	16-05-2020	1.499	16-06-2020	2.231
17-01-2020	4.566	17-02-2020	5.323	17-03-2020	4.840	17-04-2020	3.116	17-05-2020	2.010	17-06-2020	4.306
18-01-2020	4.502	18-02-2020	4.838	18-03-2020	4.295	18-04-2020	3.573	18-05-2020	2.561	18-06-2020	1.942
19-01-2020	4.436	19-02-2020	4.297	19-03-2020	4.511	19-04-2020	3.236	19-05-2020	2.513	19-06-2020	1.377
20-01-2020	4.192	20-02-2020	5.529	20-03-2020	4.586	20-04-2020	2.692	20-05-2020	2.718	20-06-2020	1.400
21-01-2020	5.345	21-02-2020	5.511	21-03-2020	4.863	21-04-2020	3.246	21-05-2020	3.206	21-06-2020	1.535
22-01-2020	5.014	22-02-2020	5.514	22-03-2020	3.937	22-04-2020	2.582	22-05-2020	1.985	22-06-2020	2.014
23-01-2020	6.533	23-02-2020	5.774	23-03-2020	3.854	23-04-2020	2.831	23-05-2020	1.572	23-06-2020	1.913
24-01-2020	5.756	24-02-2020	6.095	24-03-2020	4.677	24-04-2020	3.117	24-05-2020	1.227	24-06-2020	3.017
25-01-2020	6.551	25-02-2020	5.671	25-03-2020	4.116	25-04-2020	2.620	25-05-2020	1.562	25-06-2020	2.040
26-01-2020	6.975	26-02-2020	5.458	26-03-2020	4.853	26-04-2020	2.692	26-05-2020	1.593	26-06-2020	2.736
27-01-2020	5.067	27-02-2020	5.132	27-03-2020	3.930	27-04-2020	3.173	27-05-2020	1.948	27-06-2020	1.981
28-01-2020	5.408	28-02-2020	4.432	28-03-2020	3.657	28-04-2020	2.756	28-05-2020	2.223	28-06-2020	2.130
29-01-2020	3.485	29-02-2020	4.699	29-03-2020	3.758	29-04-2020	2.590	29-05-2020	2.184	29-06-2020	4.001
30-01-2020	4.405			30-03-2020	3.980	30-04-2020	2.606	30-05-2020	3.392	30-06-2020	2.200
31-01-2020	4.113			31-03-2020	4.057			31-05-2020	4.436		

Evaporación

Fecha	Evaporación (mm/día)	Fecha	Evaporación (mm/día)	Fecha	Evaporación (mm/día)	Fecha	Evaporación (mm/día)	Fecha	Evaporación (mm/día)	Fecha	Evaporación (mm/día)
01-01-2020	13.117	01-02-2020	11.817	01-03-2020	10.300	01-04-2020	8.550	01-05-2020	5.350	01-06-2020	4.200
02-01-2020	11.667	02-02-2020	10.983	02-03-2020	12.183	02-04-2020	8.017	02-05-2020	5.533	02-06-2020	3.950
03-01-2020	12.967	03-02-2020	12.433	03-03-2020	9.833	03-04-2020	9.167	03-05-2020	6.933	03-06-2020	4.850
04-01-2020	12.333	04-02-2020	11.500	04-03-2020	11.900	04-04-2020	10.017	04-05-2020	5.933	04-06-2020	7.850
05-01-2020	10.183	05-02-2020	13.250	05-03-2020	10.367	05-04-2020	8.217	05-05-2020	5.033	05-06-2020	2.400
06-01-2020	10.967	06-02-2020	11.367	06-03-2020	12.983	06-04-2020	7.833	06-05-2020	5.000	06-06-2020	2.350
07-01-2020	8.733	07-02-2020	13.083	07-03-2020	12.250	07-04-2020	8.283	07-05-2020	5.250	07-06-2020	1.650
08-01-2020	10.833	08-02-2020	11.867	08-03-2020	9.550	08-04-2020	8.850	08-05-2020	5.883	08-06-2020	2.500
09-01-2020	10.433	09-02-2020	11.117	09-03-2020	9.800	09-04-2020	6.733	09-05-2020	6.050	09-06-2020	3.750
10-01-2020	12.967	10-02-2020	12.933	10-03-2020	7.200	10-04-2020	7.500	10-05-2020	5.400	10-06-2020	2.100
11-01-2020	13.767	11-02-2020	12.983	11-03-2020	7.467	11-04-2020	8.000	11-05-2020	6.350	11-06-2020	4.950
12-01-2020	13.217	12-02-2020	13.767	12-03-2020	7.617	12-04-2020	7.550	12-05-2020	6.167	12-06-2020	4.050
13-01-2020	14.867	13-02-2020	11.533	13-03-2020	10.883	13-04-2020	6.517	13-05-2020	5.083	13-06-2020	3.450
14-01-2020	12.450	14-02-2020	14.067	14-03-2020	10.967	14-04-2020	7.233	14-05-2020	3.667	14-06-2020	2.050
15-01-2020	13.233	15-02-2020	12.033	15-03-2020	10.067	15-04-2020	7.367	15-05-2020	4.550	15-06-2020	3.100
16-01-2020	9.700	16-02-2020	10.550	16-03-2020	9.283	16-04-2020	5.933	16-05-2020	4.000	16-06-2020	4.200
17-01-2020	13.400	17-02-2020	12.750	17-03-2020	9.967	17-04-2020	6.533	17-05-2020	4.167	17-06-2020	4.350
18-01-2020	13.367	18-02-2020	12.567	18-03-2020	9.533	18-04-2020	9.050	18-05-2020	5.217	18-06-2020	1.950
19-01-2020	11.150	19-02-2020	11.300	19-03-2020	8.700	19-04-2020	7.267	19-05-2020	5.000	19-06-2020	2.350
20-01-2020	11.783	20-02-2020	12.167	20-03-2020	9.567	20-04-2020	6.617	20-05-2020	5.117	20-06-2020	2.850
21-01-2020	11.233	21-02-2020	12.983	21-03-2020	9.617	21-04-2020	7.317	21-05-2020	5.800	21-06-2020	1.800
22-01-2020	10.300	22-02-2020	13.083	22-03-2020	7.583	22-04-2020	6.700	22-05-2020	3.500	22-06-2020	2.850
23-01-2020	10.300	23-02-2020	11.150	23-03-2020	9.617	23-04-2020	6.967	23-05-2020	3.733	23-06-2020	3.750
24-01-2020	8.433	24-02-2020	11.817	24-03-2020	10.300	24-04-2020	7.783	24-05-2020	3.233	24-06-2020	3.600
25-01-2020	11.533	25-02-2020	9.717	25-03-2020	8.983	25-04-2020	6.833	25-05-2020	3.833	25-06-2020	3.700
26-01-2020	10.950	26-02-2020	10.500	26-03-2020	9.200	26-04-2020	6.233	26-05-2020	3.783	26-06-2020	4.550
27-01-2020	10.983	27-02-2020	10.017	27-03-2020	8.050	27-04-2020	7.433	27-05-2020	4.817	27-06-2020	3.550
28-01-2020	9.667	28-02-2020	10.667	28-03-2020	8.633	28-04-2020	6.167	28-05-2020	4.167	28-06-2020	2.450
29-01-2020	7.433	29-02-2020	11.950	29-03-2020	8.517	29-04-2020	6.683	29-05-2020	4.733	29-06-2020	5.550
30-01-2020	10.033			30-03-2020	9.550	30-04-2020	5.600	30-05-2020	5.183	30-06-2020	2.950
31-01-2020	11.250			31-03-2020	9.025			31-05-2020	5.350		