

Estudio de Comparación entre valores de temperaturas extremas medidos por estaciones meteorológicas convencionales y automáticas del Senamhi que comparten emplazamiento



DIRECCIÓN DE REDES DE OBSERVACIÓN Y DATOS / SUBDIRECCIÓN DE GESTIÓN DE DATOS

DICIEMBRE / 2022



DIRECTORIO

Félix Augusto Icochea Iriarte
DIRECTOR DE REDES DE OBSERVACIÓN Y DATOS

Vannia Jaqueline Aliaga Nestares
SUBDIRECTORA DE GESTIÓN DE DATOS

AUTOR DEL ESTUDIO:
Angel Sebastian Maco Condezo

Colaboradores:
Clara Altemira Oria Rojas
Esequiel Bruno Villegas Paredes

Lima – Perú

Diciembre – 2022

CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	5
2	METODOLOGÍA	6
2.1	Selección de estaciones.....	7
2.2	Control de calidad automático de datos	8
2.3	Detección de puntos de quiebre en las series de diferencia.....	10
2.4	Cálculo de parámetros estadísticos de distribución de la diferencia.....	10
2.5	Categorización de eventos a partir de datos de temperatura máxima y mínima.....	11
3	RESULTADOS	12
4	DISCUSIONES	21
5	CONCLUSIONES	23
6	BIBLIOGRAFÍA	24
7	ANEXO 1: Estaciones con valores de diferencia significativa entre mediciones de temperatura convencionales y automáticas.	26
8	ANEXO 2: Estaciones seleccionadas con valores de diferencia mínima entre mediciones convencionales y automáticas.	32

1 INTRODUCCIÓN

La automatización de las redes de observación meteorológicas se inicia al considerar las ventajas que implica contar con estaciones meteorológicas automáticas, como: emplazamiento de estaciones en lugares de difícil acceso, lo cual implica el incremento de la densidad de la red existente; contar con una mayor cantidad de mediciones, con una mayor frecuencia y de forma continua; disponer de la información en tiempo real; normalización de técnicas de medición y reducir el error humano (OMM, 2017d). Por otro lado, el proceso de automatización de las mediciones puede generar, como consecuencia, la falta de homogeneidad en la serie histórica de datos, por tal motivo se debe analizar las diferencias existentes entre los valores medidos por una estación meteorológica automática (EMA) y una estación meteorológica convencional (EMC), con la finalidad de realizar los ajustes y garantizar una serie con datos continua, homogénea y de calidad. Por tal motivo la OMM (2017a, 2017c, 2017d, 2020) sugiere realizar mediciones en paralelo durante un periodo mayor a 2 años, considerándose un periodo homogéneo, representativo y con una mínima cantidad de datos faltantes (idealmente se deben tener los datos completos para un periodo de 2 años).

El presente estudio presenta los resultados preliminares de la tesis desarrollada por el bachiller Angel Maco Condezo, la cual se viene desarrollando en el marco del proyecto METEO-HUASCARÁN. Este estudio tiene como objetivo calcular el valor del sesgo promedio de las series de datos de mediciones en paralelo homogéneas de estaciones meteorológicas convencionales y automáticas que comparten emplazamiento (puede existir más de una serie homogénea por estación y por variable), las cuales forman parte de la red de observación atmosférica en superficie del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (Senamhi). También, se calculará el porcentaje de eventos extremadamente fríos, muy fríos, fríos, normales, cálidos, muy cálidos y extremadamente cálidos, sobrestimados o subestimados a partir de las mediciones de temperatura máxima y mínima de la estación automática. Finalmente se analizarán los resultados obtenidos, considerando los enunciados de la OMM (2017a, 2017c, 2017d, 2020) y se compararán los resultados obtenidos para las series homogéneas de una misma estación.

2 METODOLOGÍA

Para el presente estudio se identificaron 56 estaciones meteorológicas automáticas que comparten emplazamiento con estaciones convencionales. Ambos tipos de estaciones forman parte de la red de observación meteorológica en superficie del Senamhi (Tabla N° 1).

Tabla N° 1. Lista de pares de estaciones que comparten emplazamiento

N°	NOMBRE DE ESTACIÓN	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD	DEPARTAMENTO	PROVINCIA	DISTRITO
1	AYABACA	-4.63776	-79.71077	2648	PIURA	AYABACA	AYABACA
2	BAGUA CHICA	-5.66148	-78.53396	397	AMAZONAS	UTCUBAMBA	BAGUA GRANDE
3	BOCATOMA	-17.58020	-69.62672	4260	TACNA	TACNA	PALCA
4	CABALLOCOCHA	-3.91123	-70.51189	75	LORETO	MARISCAL RAMON CASTILLA	RAMON CASTILLA
5	CABO INGA	-3.97594	-80.40182	231	TUMBES	TUMBES	SAN JACINTO
6	CAJABAMBA	-7.62166	-78.05131	2625	CAJAMARCA	CAJABAMBA	CAJABAMBA
7	CALLANCAS	-7.76747	-78.47727	1501	LA LIBERTAD	OTUZCO	CHARAT
8	CAMPO DE MARTE	-12.07053	-77.04317	124	LIMA	LIMA	JESUS MARIA
9	CANDARAVE	-17.26776	-70.25537	3415	TACNA	CANDARAVE	CANDARAVE
10	CAÑAVERAL	-3.93910	-80.65058	133	TUMBES	CONTRALMIRANTE VILLAR	CASITAS
11	CARANIA	-12.34440	-75.87215	3840	LIMA	YAUYOS	CARANIA
12	CELENDIN	-6.85292	-78.14485	2602	CAJAMARCA	CELENDIN	CELENDIN
13	CHALLACA	-13.79047	-75.38212	1800	HUANCAVELICA	HUAYTARA	SANTIAGO DE CHOCORVOS
14	CHANCAY BAÑOS	-6.57500	-78.86722	1638	CAJAMARCA	SANTA CRUZ	CHANCAYBAÑOS
15	CHAVIN	-9.58598	-77.17526	3140	ANCASH	HUARI	CHAVIN DE HUANTAR
16	CHIVAY	-15.64163	-71.60169	3644	AREQUIPA	CAYLLOMA	CHIVAY
17	CHULUCANAS	-5.10843	-80.16956	89	PIURA	MORROPON	CHULUCANAS
18	CONTAMANA	-7.35256	-75.00638	157	LORETO	UCAYALI	CONTAMANA
19	CORACORA	-15.01194	-73.77945	3149	AYACUCHO	PARINACOCNAS	CORACORA
20	COSPAN	-7.42861	-78.54111	2300	CAJAMARCA	CAJAMARCA	COSPAN
21	COTAHUASI	-15.21134	-72.89325	2683	AREQUIPA	LA UNION	COTAHUASI
22	CRUCERO ALTO	-15.76433	-70.91126	4521	PUNO	LAMPA	SANTA LUCIA
23	EL PORVENIR	-6.58903	-76.31825	223	SAN MARTIN	SAN MARTIN	JUAN GUERRA
24	GRANJA SAN ANTONIO	-13.60492	-72.85693	2772	APURIMAC	ABANCAY	TAMBURCO
25	HUAC-HUAS	-14.13236	-74.94104	3180	AYACUCHO	LUCANAS	HUAC-HUAS
26	HUAMBOS	-6.45368	-78.96315	2258	CAJAMARCA	CHOTA	HUAMBOS
27	HUANCA	-16.03458	-71.88108	3065	AREQUIPA	CAYLLOMA	HUANCA
28	HUANCABAMBA	-5.24681	-79.45399	1959	PIURA	HUANCABAMBA	HUANCABAMBA
29	IMATA	-15.84266	-71.09062	4475	AREQUIPA	CAYLLOMA	SAN ANTONIO DE CHUCA
30	IÑAPARI	-10.95589	-69.57800	244	MADRE DE DIOS	TAHUAMANU	IÑAPARI

31	JAEN	-5.67664	-78.77416	618	CAJAMARCA	JAEN	JAEN
32	JULIACA	-15.44415	-70.20778	3838	PUNO	SAN ROMAN	JULIACA
33	LANCONES	-4.64288	-80.54717	136	PIURA	SULLANA	QUERECOTILLO
34	MACHU PICCHU	-13.16655	-72.54585	2399	CUSCO	URUBAMBA	MACHUPICCHU
35	MALACASI	-5.33977	-79.85794	153	PIURA	MORROPON	SALITRAL
36	MARCAPOMACocha	-11.40440	-76.32486	4447	JUNIN	YAULI	MARCAPOMACocha
37	MATUCANA	-11.83913	-76.37803	2417	LIMA	HUAROCHIRI	MATUCANA
38	MOQUEGUA	-17.17875	-70.93269	1420	MOQUEGUA	MARISCAL NIETO	MOQUEGUA
39	MORROPON	-5.19464	-79.97108	128	PIURA	MORROPON	MORROPON
40	ÑAÑA	-11.98744	-76.84194	543	LIMA	LIMA	LURIGANCHO
41	OCUCAJE	-14.37844	-75.68208	311	ICA	ICA	OCUCAJE
42	PAMPA DE MAJES	-16.33567	-72.15248	1503	AREQUIPA	CAYLLOMA	MAJES
43	PAMPAHUTA	-15.48369	-70.67599	4316	PUNO	LAMPA	PARATIA
44	PATAHUASI-AREQUIPA	-16.05542	-71.41481	4026	AREQUIPA	AREQUIPA	YURA
45	PAUCARAY	-14.04390	-73.63862	3232	AYACUCHO	SUCRE	SANTIAGO DE PAUCARAY
46	PILLONES	-15.98125	-71.21669	4432	AREQUIPA	CAYLLOMA	SAN ANTONIO DE CHUCA
47	PUERTO INCA	-9.38510	-74.96376	212	HUANUCO	PUERTO INCA	PUERTO INCA
48	PUNO	-15.82625	-70.01208	3825	PUNO	PUNO	PUNO
49	QUILLABAMBA	-12.85645	-72.69174	1001	CUSCO	LA CONVENCION	SANTA ANA
50	RECUAY	-9.72919	-77.45365	3431	ANCASH	RECUAY	RECUAY
51	REQUENA	-5.04308	-73.83612	109	LORETO	REQUENA	REQUENA
52	SAN MARCOS	-7.32249	-78.17270	2287	CAJAMARCA	SAN MARCOS	PEDRO GALVEZ
53	SAN PEDRO DE HUACARPANA	-13.04786	-75.64637	3794	ICA	CHINCHA	SAN PEDRO DE HUACARPANA
54	SANTA CLOTILDE	-2.48757	-73.67919	118	LORETO	MAYNAS	NAPO
55	TARMA	-11.39672	-75.68991	3025	JUNIN	TARMA	TARMA
56	TINAJONES	-6.65493	-79.42790	182	LAMBAYEQUE	CHICLAYO	CHONGOYAPE

2.1 Selección de estaciones

Se consideraron las series de datos de temperatura máxima y mínima medidos por los pares de estaciones (EMA y EMC) que comparten emplazamiento, durante el periodo de funcionamiento en paralelo. A partir de las series de dichas estaciones, se realiza el emparejamiento de los datos medidos por la EMA y EMC para una misma fecha, por cada variable. De esta manera se obtienen las series de pares de datos de temperatura máxima (Tmax) y las series de pares de datos de temperatura mínima (Tmin). Posteriormente, se realiza el cálculo del porcentaje de datos faltantes por cada serie de pares (se consideran datos faltantes, si por lo menos falta una medición del par de datos).

Para el presente estudio, se seleccionaron las series de mediciones en paralelo con un periodo mínimo de extensión de 5 años y con un porcentaje de datos faltantes menor al 20% (Acquaotta et al. 2019).

2.2 Control de calidad automático de datos

Al considerar una medición de Tmax y Tmin por día, para los datos de la EMA, se puede aplicar los mismos criterios de control de calidad de datos aplicados a las series de datos medidos por la EMC.

Según la OMM (2017c), con la finalidad de conocer la calidad del dato en cualquier punto del proceso de control de calidad de los datos, se deben emplear marcadores. Según, los marcadores o banderines utilizados por Senamhi (2021b), a los datos se les pueden asignar los siguientes banderines:

Tabla N° 2. Banderines asignados a los datos durante el control de calidad automático

BANDERÍN	CLASIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN
C	Conforme	El dato cumple todas las reglas consideradas
D	Dudoso	El dato no cumple una o varias reglas consideradas
M	Malo	El dato está fuera de los límites duros establecidos
ND	No dato	Dato faltante
SC	Sin control	Dato que no ha sido sometido a ningún control de calidad

Fuente: Senamhi (2021b)

Senamhi (2021a) considera los siguientes criterios para realizar el control de calidad de los datos de temperatura máxima medidos por una EMC:

- Temperatura máxima diaria menor o igual a la temperatura mínima diaria, para un mismo día

Variable (VAR)	Condición	Etiqueta
Temperatura máxima (Tmax) Temperatura mínima (Tmin)	Si $T_{max_d} > T_{min_d}$	$T_{max_d} <- "C"$
	Si $T_{max_d} \leq T_{min_d}$	$T_{max_d} <- "M"$

Donde: d = día del dato

- Temperatura máxima diaria, mayor o igual a la temperatura del aire instantánea medida por un termómetro de bulbo seco, para el mismo día (en el caso de la temperatura máxima diaria medida por la EMA, se puede comparar con la data promedio horaria).

Variable (VAR)	Condición	Etiqueta
Temperatura máxima (Tmax) Temperatura de bulbo seco (Ts)	Si $T_{max_d} > T_{s_h}$	$T_{max_d} <- "C"$
	Si $T_{max_d} \leq T_{s_h}$	$T_{max_d} <- "M"$

Donde: d = día del dato
h = hora del dato

- Temperatura mínima diaria, menor o igual a la temperatura del aire instantánea medida por un termómetro de bulbo seco, para el mismo día (en el caso de la temperatura máxima diaria medida por la EMA, se puede comparar con la data promedio horaria).

Variable (VAR)	Condición	Etiqueta
Temperatura mínima (Tmin) Temperatura de bulbo seco (Ts)	Si $T_{min_d} < T_{s_h}$	$T_{max_d} < - "C"$
	Si $T_{min_d} \geq T_{s_h}$	$T_{min_d} < - "M"$

Donde: d = día del dato
h = hora del dato

- Los datos de temperatura máxima y mínima deben ser mayor o igual a -30°C y menor o igual a 45°C.

Variable (VAR)	Condición	Etiqueta
Temperatura máxima (Tmax) Temperatura mínima (Tmin)	Si $-30^{\circ}C \leq T_{max_d} \leq 45^{\circ}C$ $-30^{\circ}C \leq T_{min_d} \leq 45^{\circ}C$	$T_{max_d} < - "C"$ $T_{min_d} < - "C"$
	Si $T_{max_d} < -30^{\circ}C$ o $T_{max_d} > 45^{\circ}C$ $T_{min_d} < -30^{\circ}C$ o $T_{min_d} > 45^{\circ}C$	$T_{max_d} < - "M"$ $T_{min_d} < - "M"$

Donde: d = día del dato

- La variación de 3 datos de temperatura entre 3 días consecutivos debe ser diferente de cero, es decir, no se debe repetir un valor de temperatura por 3 o más días consecutivos.

Variable (VAR)	Condición	Etiqueta
Temperatura máxima (Tmax) Temperatura mínima (Tmin)	Si $T_{max_d} \neq T_{max_{d-1}} \neq T_{max_{d-2}}$ Si $T_{min_d} \neq T_{min_{d-1}} \neq T_{min_{d-2}}$	$T_{max_d} < - "C"$ $T_{min_d} < - "C"$
	Si $T_{max_d} = T_{max_{d-1}} = T_{max_{d-2}}$ Si $T_{min_d} = T_{min_{d-1}} = T_{min_{d-2}}$	$T_{max_d} < - "D"$ $T_{min_d} < - "D"$

Donde: d = día del dato

Como parte del control de calidad, Kaspar et al (2016) considera que los valores de diferencia entre mediciones (temperatura máxima de la EMC menos temperatura máxima de la EMA), no deben ser mayores a 2 °C, ni menores a -2°C. En la misma línea, Augter (2013) considera que la diferencia entre ambas mediciones debe ser igual a cero (en un caso ideal). Por tal motivo, se calcula la serie de diferencias, a partir de las series de pares de datos de cada variable. Luego se aplican los rangos propuestos por Kaspar et al (2016), se vuelve a contabilizar la cantidad de datos faltantes y se calcula el porcentaje de datos faltantes, con la finalidad de considerar las series de pares con un porcentaje de datos faltantes menor al 20%.

2.3 Detección de puntos de quiebre en las series de diferencia

Los puntos de quiebre de una serie meteorológica son saltos en la tendencia, dispersión o estacionalidad, lo cual se puede deber a una causa climática natural o intervención humana al instrumental de medición (cambio de emplazamiento, cambio de instrumental, cambios del procedimiento de observación, modificaciones del entorno cercano, etc). Dichos puntos indican el inicio de una nueva serie de tiempo con componentes como tendencia, valores extremos, dispersión o estacionalidad diferente a la serie inicial.

Asumiendo que la serie de diferencia de datos se debe mantener homogénea, al considerar que las estaciones EMA y EMC están sometidas a las mismas condiciones meteorológicas y climáticas (OMM, 2020); al existir un punto de quiebre en esta serie, se debería a algún factor causante de la falta de homogeneidad, lo cual debe ser corroborado por los metadatos, en caso de contar con esta.

El programa RHtestV4 está desarrollado en R y es de libre acceso. Se utiliza para detectar puntos de quiebre en una serie, sin considerar una serie de referencia. Para esta función, el programa se basa en PMF (Penalized Maxima F test), que permite que la serie temporal analizada tenga una tendencia lineal a lo largo de todo el periodo de la serie (Acquaotta et al, 2019).

Dicho programa fue utilizado por Acquaotta et al (2019), en la investigación “Influence of instrumentation on long temperature time series” y considera series de mediciones en paralelo con una extensión mínima de 5 años y 20% de datos faltantes. Por otra parte, otros autores consideran otros programas para detectar los puntos de quiebre, que requieren un periodo de mediciones en paralelo más amplio y un porcentaje menor al 5% de datos faltantes (Gilabert A. 2016, Kaspar et al. 2016, Hannak et al. 2019).

Como resultado, las series iniciales se dividieron en subseries a partir de los puntos de quiebre identificados por el programa, pero solo se consideraron las subseries con una extensión mayor a un año, con la finalidad de analizar trimestralmente la diferencia de la cuantificación de eventos (lo cual es parte del análisis de la tesis mencionada inicialmente).

2.4 Cálculo de parámetros estadísticos de distribución de la diferencia

Para realizar el análisis de las subseries identificadas, se consideraron las siguientes variables estadísticas:

- Parámetros de distribución de la diferencia (aplicados a las series de diferencias de temperatura):
 - media
 - mediana
 - primer cuartil
 - tercer cuartil
 - desviación estándar

Los estadísticos calculados permiten evaluar la similitud entre los valores medidos por una estación automática y una convencional, determinar el error promedio y comparar dichas series de datos pertenecientes a una misma estación (diferencias entre subseries pertenecientes a una misma estación).

2.5 Categorización de eventos a partir de datos de temperatura máxima y mínima

Como parte del análisis de las subseries, los datos diarios medidos por las estaciones convencionales y automáticas fueron divididos en 7 categorías, a partir de la categorización utilizada por Senamhi en el monitoreo de temperaturas extremas (por percentiles): extremadamente cálido, muy cálido, cálido, frío, muy frío, extremadamente frío y normal (Tabla N° 3).

Para el desarrollo de dicha categorización, se siguieron los lineamientos de la OMM (2017b).

Tabla N° 3. Categorías consideradas por el Senamhi para el monitoreo de temperaturas extremas

CATEGORÍA	PERCENTIL
Extremadamente Cálido (EC)	$T \geq P_{99}$
Muy Cálido (MC)	$P_{99} > T \geq P_{95}$
Cálido (CA)	$P_{95} > T \geq P_{90}$
Normal (NOR)	$P_{90} > T > P_{10}$
Frio (FR)	$P_{10} \geq T > P_5$
Muy Frio (MF)	$P_5 \geq T > P_1$
Extremadamente frío (EF)	$P_1 \geq T$
Donde: P_{99} = percentil 99 P_{95} = percentil 95 P_{90} = percentil 90 P_{10} = percentil 10 P_{05} = percentil 05 P_{01} = percentil 01	

Los valores de los percentiles se extraen a partir de los datos considerados en el cálculo de normales climáticas.

Una vez realizada la categorización, se realiza la diferencia entre la cantidad de eventos obtenidos a partir de las mediciones de estaciones convencionales y automáticas. Para realizar un mejor análisis y poder comparar resultados de las subseries de una misma estación o de diferentes estaciones, se calcula la diferencia porcentual entre la cantidad de eventos medidos a partir de los dos tipos de estaciones, considerando el periodo de funcionamiento de mediciones en paralelo de la subserie y el porcentaje de datos faltantes para la misma (Ecuación 1).

$$DIF (\%) = \frac{DIF}{\left(\Delta F \left(\frac{100-DIF}{100}\right)\right)} \times 100 \dots \text{Ecuación N°1}$$

Donde DIF es la diferencia entre la cantidad de eventos cuantificados a partir de datos de temperatura (temperatura máxima o mínima) medidos por la EMC menos la cantidad de eventos cuantificados a partir de los datos de temperatura medidos por la EMA. ΔF es la cantidad de días entre la fecha inicial y fecha final de la subserie. DF es el porcentaje de datos faltantes de la subserie.

3 RESULTADOS

Inicialmente se consideraron 56 pares de estaciones que comparten emplazamiento. Al no contar con un periodo de mediciones en paralelo mayor a 5 años, y presentar un porcentaje de datos faltantes mayor al 20% para el mismo periodo mediciones (lo cual se refleja en periodos extensos con falta de datos), la cantidad de estaciones se redujo a 26 estaciones.

Al realizar el control de calidad de los datos, y considerar los valores de las diferencias (calculadas a partir las series de pares de datos) mayores a -2°C y menores a 2°C , se pudo observar, en algunos casos (estaciones: Bocatoma, Cajabamba, Chavin, Lancones, Pampa de Majes, Paucaray, Tarma), que el porcentaje de datos faltantes se incrementó ampliamente debido a la diferencia significativa existente entre ambos tipos de mediciones. Por ejemplo, en la Figura 1, se presentan de manera gráfica los datos de temperatura máxima y mínima, medidos por la EMA y la EMC Cajabamba. En la gráfica de datos de temperatura máxima, los datos medidos por la EMA, en el año 2018 y parte del 2019, difieren de manera significativa, considerando como referencia la EMC. Lo mencionado, también se refleja en la Figura 2, donde se presenta de manera gráfica los valores de la diferencia entre datos medidos por la EMA y la EMC. Inicialmente (desde el inicio de las mediciones en paralelo y se mantiene hasta el año 2015), los valores de la diferencia presentaba una tendencia lineal cercana a cero. Desde el año 2016, se observa de manera clara, como los valores de la diferencia tienden a ser negativos y se dispersan más los puntos en las gráficas.

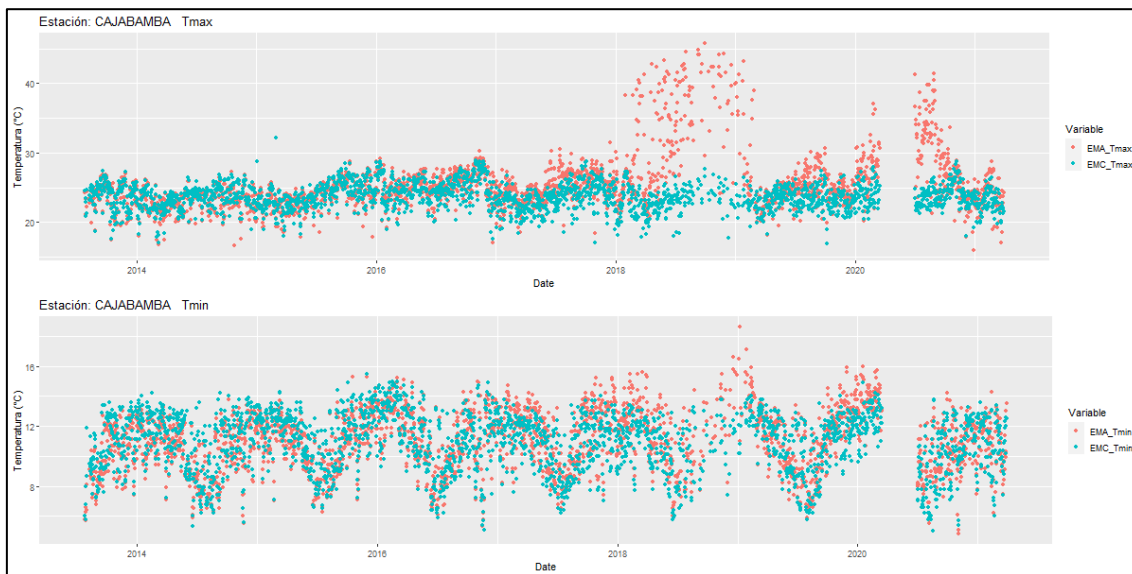


Figura 1. Datos de temperatura máxima (Cajabamba Tmax) y temperatura mínima (Cajabamba Tmin) medidos en paralelo por la EMA y EMC Cajabamba. EMA_Tmax y EMA_Tmin son los datos de temperatura máxima y mínima, respectivamente, medidos por la EMA. EMC_Tmax y EMC_Tmin son los datos de temperatura máxima y mínima, respectivamente, medidos por la EMC.

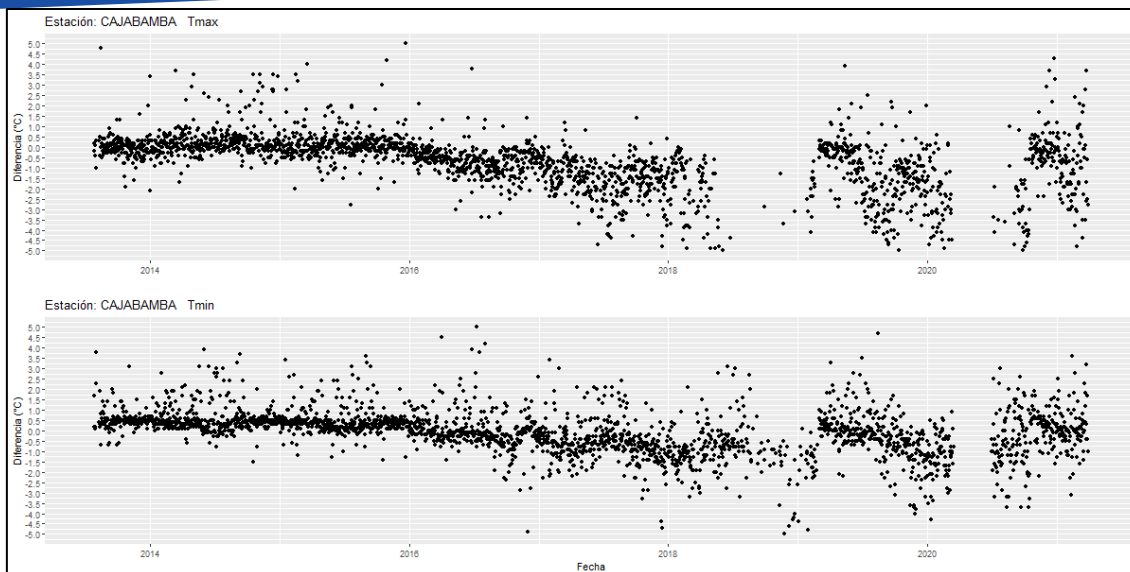


Figura 2. Valores de la diferencia de datos medidos por la EMA y EMC Cajabamba, de temperatura máxima (Cajabamba Tmax) y temperatura mínima (Cajabamba Tmin), Para facilitar el análisis, se optó por sesgar el eje Y entre +5 y -5 °C.

Como se mencionó previamente, al igual que la estación Cajabamba, las estaciones Bocatoma, Cajabamba, Chavin, Lancones, Pampa de Majes, Paucaray y Tarma presentan la misma problemática. Para mayor detalle, se adjuntan las gráficas respectivas de las estaciones mencionadas, en el Anexo 1.

En contraste, las mediciones de las estaciones automáticas Celendin, Chivay, Chulucanas, Cotahuasi y Matucana no difieren significativamente de las mediciones de la EMC. En estos últimos casos, no existe una diferencia amplia entre el porcentaje de datos faltantes de dichas series y el porcentaje de datos faltantes considerado como criterio de selección de estaciones. Como resultado de lo mencionado, el número de estaciones se redujo de 26 a 11, las cuales se nombran en la Tabla N°4.

Tabla N° 4. Estaciones seleccionadas para el análisis de series en paralelo

N°	NOMBRE DE ESTACIÓN	FECHA INICIAL	FECHA FINAL	NUMERO DE AÑOS	PARES DE DATOS FALTANTES (%)	
					TEMPERATURA MÍNIMA	TEMPERATURA MÁXIMA
1	CABO INGA	9/12/2014	21/07/2021	6.6	12	12
2	CAMPO DE MARTE	6/07/2014	31/03/2020	5.7	6	6
3	CHANCAY BAÑOS	31/03/2015	30/06/2021	6.3	12	4
4	CRUCERO ALTO	7/04/2014	31/05/2021	7.2	18	12
5	HUAMBOS	31/03/2015	31/03/2020	5	3	7
6	JULIACA	21/08/2013	31/01/2021	7.5	20	18
7	MOQUEGUA	30/12/2000	31/01/2021	20.1	19	18
8	MORROPON	9/12/2014	31/03/2020	5.3	19	18
9	PILLONES	7/04/2014	30/04/2021	7.1	18	17
10	PUNO	4/12/2013	31/01/2021	7.2	18	19
11	SAN MARCOS	29/02/2012	30/06/2021	9.3	14	6

Al igual que las estaciones que presentan valores de diferencias significativas, se graficaron los datos de las mediciones en paralelo realizadas por las 11 estaciones seleccionadas (Tabla N°4). Como ejemplo, se presentan de manera gráfica los datos de temperatura máxima y mínima, medidos por la EMA y la EMC Huambos (Figura N° 3), donde no se observan diferencia significativas en dichas gráficas. Por otro lado, al revisar la Figura N°4, sí se observan, de forma puntual, valores significativos de la diferencia entre datos medidos por la EMA y EMC.

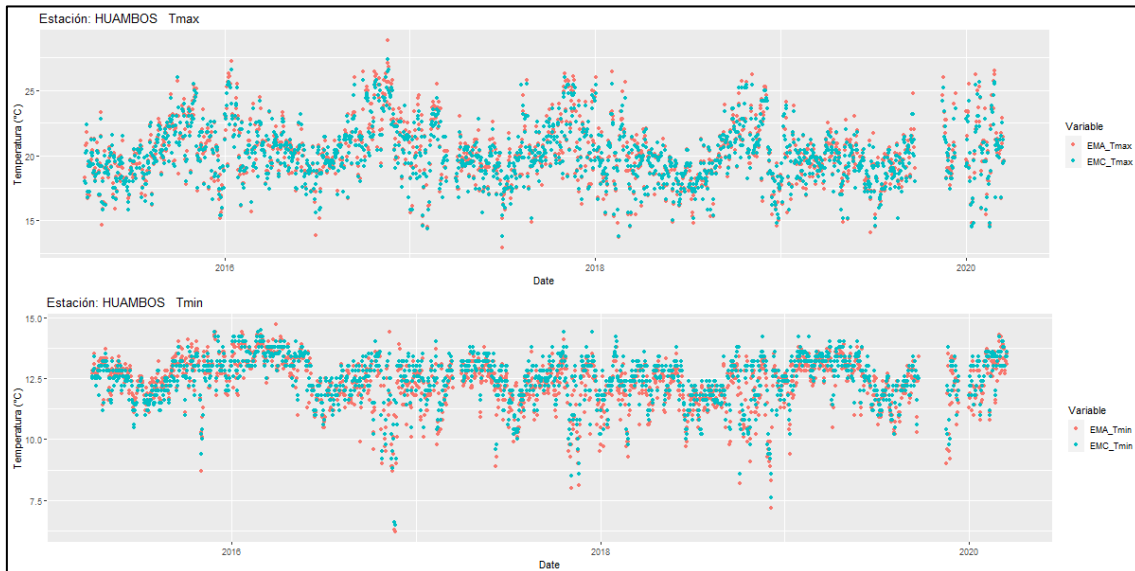


Figura 3. Datos de temperatura máxima (Huambos Tmax) y temperatura mínima (Huambos Tmin) medidos en paralelo por la EMA y EMC Huambos. EMA_Tmax y EMA_Tmin son los datos de temperatura máxima y mínima, respectivamente, medidos por la EMA. EMC_Tmax y EMC_Tmin son los datos de temperatura máxima y mínima, respectivamente, medidos por la EMC.

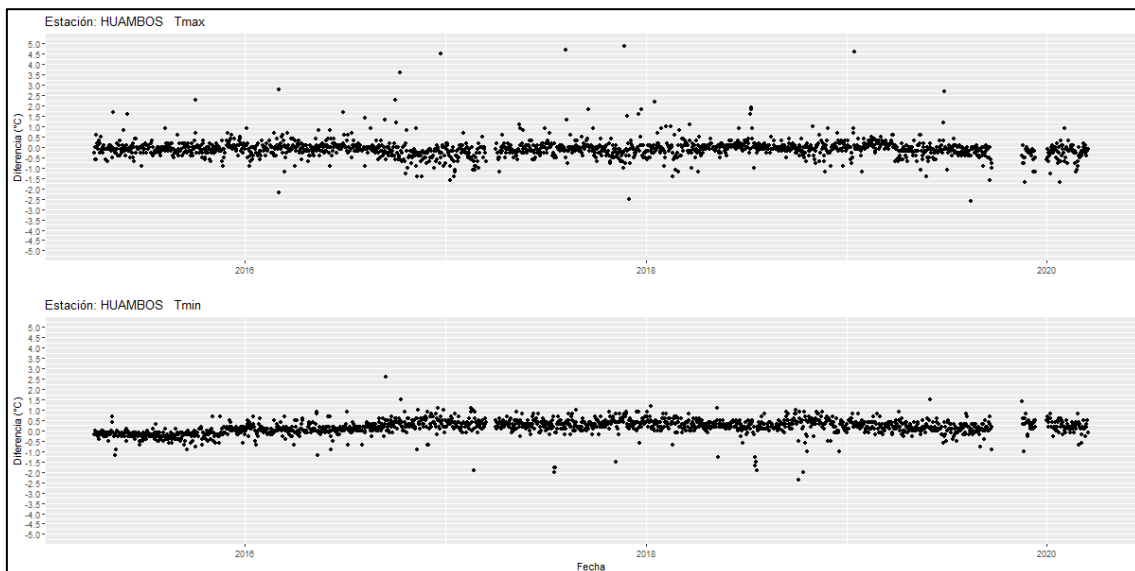


Figura 4. Valores de la diferencia de temperatura máxima (Huambos Tmax) y temperatura mínima (Huambos Tmin), entre datos medidos por la EMA y EMC Huambos. Para facilitar el análisis, se optó por sesgar el eje Y entre +5 y -5 °C.

Para una mejor comprensión de más valores de las mediciones en paralelo y la diferencia existente entre las mismas, se adjuntaron en el Anexo 2 las gráficas correspondientes a las

estaciones seleccionadas (de manera similar a la Figura 3 y 4), las cuales se listan en la Tabla N° 4.

Las series de diferencias obtenidas, a partir de las series de pares de datos medidos por las estaciones seleccionadas (Tabla 4), fueron ingresadas al programa RHtestV4 y como resultado se obtuvieron los puntos de quiebre para cada serie. A partir de los puntos de quiebre, las series de datos medidos durante el periodo de mediciones en paralelo se dividieron en subseries. En la mayoría de casos, se identificaron más de 3 subseries, e incluso se llegaron a identificar más de 15 subseries en una estación (Moquegua). De las subseries obtenidas, solo se seleccionaron las series con un año de datos como mínimo (Tabla 5).

Tabla N° 5. Numero de subseries identificadas y seleccionadas por cada par de estaciones

N°	NOMBRE DE ESTACIÓN	NUMERO DE SUBSERIES IDENTIFICADAS		NUMERO DE SUBSERIES SELECCIONADAS	
		TEMPERATURA MÍNIMA	TEMPERATURA MÁXIMA	TEMPERATURA MÍNIMA	TEMPERATURA MÁXIMA
1	CABO INGA	2	2	2	2
2	CAMPO DE MARTE	4	7	3	3
3	CHANCAY BANOS	4	6	4	3
4	CRUCERO ALTO	4	2	2	2
5	HUAMBOS	6	3	1	2
6	JULIACA	4	5	1	5
7	MOQUEGUA	14	15	5	4
8	MORROPON	7	5	2	2
9	PILLONES	4	3	1	3
10	PUNO	3	1	2	1
11	SAN MARCOS	2	6	2	3

A partir de los datos que conforman las subseries, se calcularon los parámetros estadísticos de distribución de los valores de la diferencia de los datos de temperatura máxima (Tabla 6) y temperatura mínima (Tabla 7). En las mismas tablas se consideró la diferencia entre los eventos cuantificados como EF, MF, FR, NOR, CA, MC y EC (en porcentajes), a partir de los datos medidos por la EMA y EMC.

Tabla N° 6. Resultados obtenidos a partir de las mediciones en paralelo de temperatura mínima

TEMPERATURA MÍNIMA																		
N°	ESTACIÓN	ID	FECHA INICIAL	FECHA FINAL	PORCENTAJE DE DATOS FALTANTES (%)	PERIODO DE MEDICIONES EN PARALELO (AÑOS)	PROMEDIO	MEDIANA	PRIMER CUARTIL	TERCER CUARTIL	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	EF (%)	MF (%)	FR (%)	NOR (%)	CA (%)	MC (%)	EC (%)
1	CABO INGA	1	10/12/2014	19/04/2019	10	4	0.366	0.4	0.1	0.7	0.684	-0.3	-2.3	-1.5	-4.2	4.5	3	0.8
2	CABO INGA	2	21/04/2019	20/07/2021	16	2	0.385	0.4	0.3	0.6	0.459	-1	-3.3	-2.3	2.5	1.9	1.7	0.6
3	CAMPO DE MARTE	1	7/07/2014	26/10/2015	13	1	0.255	0.2	0.05	0.4	0.357	0	-0.2	0	-3.4	-0.5	3.9	0.2
4	CAMPO DE MARTE	3	24/11/2015	2/10/2018	3	3	0.209	0.2	0	0.4	0.43	0	-0.7	-1.5	-1.9	4.2	0	-0.1
5	CAMPO DE MARTE	4	4/10/2018	15/03/2020	1	1	0.07	0	-0.2	0.3	0.393	0	-1.3	1.3	-0.8	0.8	0	0
6	CHANCAY BANOS	1	1/04/2015	1/12/2016	34	2	0.293	0.4	0.2	0.5	0.456	0	0	-0.5	-12.9	2.7	3.2	7.5
7	CHANCAY BANOS	2	3/12/2016	4/04/2019	1	2	0.574	0.5	0.4	0.7	0.331	0	-0.4	-0.2	-18.2	5.8	9.3	3.7
8	CHANCAY BANOS	3	6/04/2019	18/06/2020	10	1	0.502	0.5	0.3	0.7	0.395	0	0	0	-20.1	8.6	5.3	6.1
9	CHANCAY BANOS	4	20/06/2020	29/06/2021	1	1	0.759	0.7	0.6	0.9	0.373	0	0	-0.3	-26.8	11.6	12.2	3.2
10	CRUCERO ALTO	2	18/10/2014	10/01/2018	10	3	-0.007	0.1	-0.4	0.4	0.726	0	-0.2	-0.5	5.6	-1.3	-2.3	-1.3
11	CRUCERO ALTO	3	12/01/2018	9/06/2020	32	2	-0.111	0	-0.6	0.4	0.783	-0.2	-0.3	0.2	9.5	-1.2	-5.5	-2.5
12	HUAMBOS	6	15/07/2016	16/03/2020	3	4	0.256	0.3	0.1	0.4	0.336	-0.2	-1.1	-0.5	-11.3	4.7	6.6	1.7
13	JULIACA	4	6/12/2014	30/01/2021	19	6	0.292	0.3	0.1	0.5	0.452	-0.9	0	-0.4	-0.9	0.1	1.3	0.9
14	MOQUEGUA	3	25/04/2002	8/10/2003	56	1	-0.707	-0.7	-1.1	-0.4	0.517	0.9	0	0.4	14.7	-9.5	-1.7	-4.8
15	MOQUEGUA	8	30/08/2005	7/07/2010	8	5	-0.073	-0.1	-0.5	0.4	0.691	-0.4	-0.5	-0.4	3	-0.4	-0.9	-0.4
16	MOQUEGUA	9	9/07/2010	27/11/2013	14	3	-0.496	-0.5	-1.1	0.1	0.786	0.4	1.3	2.3	0.4	-2.8	-1.5	-0.1
17	MOQUEGUA	10	29/11/2013	19/06/2016	21	3	-0.486	-0.6	-0.9	-0.2	0.609	0	-0.4	0.5	7.9	-0.7	-6	-1.4
18	MOQUEGUA	12	3/08/2016	1/12/2017	9	1	-0.607	-0.65	-1	-0.2	0.536	0.5	0.5	0	8.4	-3.6	-3.9	-1.8
19	MOQUEGUA	14	5/06/2018	30/01/2021	25	3	-0.323	-0.3	-0.6	-0.025	0.459	0	0.3	0.7	2.6	-0.7	-1.9	-1
20	MORROPON	1	10/12/2014	8/11/2016	33	2	0.417	0.3	0.2	0.6	0.429	0	-0.2	-0.2	-12.9	4.9	6.9	1.5
21	MORROPON	6	2/02/2018	5/03/2020	13	2	0.298	0.3	0.1	0.475	0.369	0	-1.7	-2.6	1.1	0.6	2.1	0.5
22	PILLONES	4	29/01/2015	29/04/2021	19	6	0.311	0.4	0.1	0.5	0.596	0.1	-0.9	-0.2	-3.2	0.7	2.7	0.8
23	PUNO	2	28/10/2014	30/05/2018	4	4	-0.167	-0.3	-0.6	0.225	0.719	0.1	0.3	0.3	1.6	-1.2	-1.3	0.2
24	PUNO	3	1/06/2018	30/01/2021	41	3	0.067	-0.1	-0.4	0.5	0.72	0	0.7	0.3	-7	-1	4.7	2.3
25	SAN MARCOS	1	1/03/2012	20/08/2013	16	1	0.972	0.95	0.8	1.1	0.348	-2	-4.4	-4	0.7	4.4	3.5	1.8
26	SAN MARCOS	2	22/08/2013	29/06/2021	14	8	0.905	0.9	0.8	1	0.375	-2.3	-2.7	-3.3	-2.2	4.6	4.6	1.2

El valor promedio (o sesgo promedio), mediana, primer cuartil, tercer cuartil y desviación estándar se calculan a partir del periodo identificado para cada subserie de diferencias de temperatura mínima.

El ID es un identificador asignado al realizar la división de la serie de datos de diferencia inicial de temperatura mínima en subseries, a partir de los puntos de quiebre identificados. No son números correlativos, pues se eliminaron las subseries con una extensión menor a un año.

En el valor del sesgo promedio calculado en cada subserie se observan valores cercanos a cero. El valor de sesgo promedio más alejado del 0 es de 0.972. Este último se calculó a partir de los datos de la diferencia correspondiente a la primera subserie analizada para la estación San Marcos (ID igual a 1).

En la estación Cabo Inga, los valores del sesgo promedio, calculados a partir mediciones de temperatura mínima de la EMA y la EMC, son 0.366 y 0385 para la subserie 1 y 2, respectivamente. En la subserie 1, la EMA sobrestima eventos NOR, FR y MF, y subestima eventos CA y MC. En la subserie 2, la EMA sobrestima eventos EF, MF y FR, y subestima eventos NOR, CA y MC, por parte de la EMA.

En la estación Campo de Marte, los valores del sesgo promedio son 0.255, 0.209 y 0.07 para la subserie 1,3 y 4. En la subserie 1, la EMA sobrestima eventos NOR y subestimación de eventos MC. En la subserie 3, la EMA sobrestima eventos NOR y FR, y subestima eventos CA. En la subserie 4, la EMA sobrestima eventos MF y subestima eventos FR.

En la estación Chancay Baños, los valores del sesgo promedio son 0.293, 0574, 0.502 y 759 para las subseries 1, 2, 3 y 4. En las 4 subseries, la EMA sobrestima de eventos NOR y subestima eventos CA, MC y EC. En la subserie 4, se obtuvieron los valores más altos del porcentaje de eventos sobrestimados y subestimados por la EMA.

En la estación Crucero Alto, los valores del sesgo promedio son -0.007 y -0.111 para las subseries 2 y 3. En las 2 subseries, la EMA subestima eventos NOR y sobrestima eventos CA, MC y EC. En la subserie 3, se obtuvieron los valores más altos del porcentaje de eventos sobrestimados y subestimados por la EMA.

En la estación Huambos, el valor del sesgo es 0.256, para la única subserie seleccionada. Para dicha subserie, la EMA sobrestima eventos NOR y MF, y subestima eventos CA, MC y EC.

En la estación Juliaca, el valor del sesgo promedio es 0.292, para la única subserie seleccionada. Para dicha subserie, la EMA subestima eventos MC. En este caso, los valores de sobrestimación son menores al 1%, por lo cual no se consideró sobrestimación por parte de la EMA.

En la estación Moquegua, los valores del sesgo promedio son -0.707, -0.073, -0.496, -0.486, -0.607 y -0323 para las subseries 3, 8, 9, 10, 12 y 14. En la subserie 3, la EMA subestima eventos NOR y sobrestima eventos CA, MC y EC. En la subserie 8, la EMA subestima eventos NOR. En la subserie 9, la EMA subestima eventos MF y FR, y sobrestima eventos CA y MC. En las subseries 10 y 14, la EMA subestima eventos NOR y sobrestima eventos MC y CA. En la subserie 12, la EMA subestima NOR y sobrestima eventos CA, MC y EC.

En la estación Morropón, los valores del sesgo promedio son 0.417 y 0.298 para las subseries 1 y 6. En la subserie 1, la EMA sobrestima eventos NOR y subestimación de eventos CA, MC y EC. En la subserie 6, la EMA sobrestima eventos MF y FR, y subestima eventos NOR y MC.

En la estación Pillones, el valor del sesgo promedio es 0.311, para la única subserie seleccionada. Para dicha subserie, la EMA sobrestima eventos NOR y subestima eventos MC.

En la estación Puno, los valores del sesgo promedio son -0.167 y 0.067 para las subseries 2 y 3. En la subserie 2, la EMA sobrestima eventos CA y MC, y subestima eventos NOR. En la subserie 3, la EMA sobrestima NOR y CA, y subestima eventos MC y EC.

En la estación San marcos, los valores del sesgo promedio son 0.972 y 0.905 para las subseries 1 y 2. En la subserie 1, la EMA sobrestima EF, MF y FR, y subestima eventos CA, MC y EC. En la subserie 2, la EMA sobrestima EF, MF, FR y NOR, y subestima eventos CA, MC y EC.

Tabla N° 7. Resultados obtenidos a partir de las mediciones en paralelo de temperatura máxima

TEMPERATURA MÁXIMA																		
N°	ESTACIÓN	ID	FECHA INICIAL	FECHA FINAL	PORCENTAJE DE DATOS FALTANTES	PERIODO DE MEDICIONES EN PARALELO (AÑOS)	PROMEDIO	MEDIANA	PRIMER CUARTIL	TERCER CUARTIL	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	EF (%)	MF (%)	FR (%)	NOR (%)	CA (%)	MC (%)	EC (%)
1	CABO INGA	1	10/12/2014	13/03/2017	6	2	-0.149	-0.2	-0.5	0.2	0.644	-0.3	-1.2	1.3	4.7	1.9	-3.1	-3.4
2	CABO INGA	2	15/03/2017	20/07/2021	15	4	0	0	-0.3	0.3	0.596	-0.1	-0.4	-0.5	3	-0.7	-0.6	-0.6
3	CAMPO DE MARTE	1	7/07/2014	16/10/2015	13	1	-0.035	-0.1	-0.3	0.3	0.469	0.5	-0.2	1	-1.2	-0.5	0	0.5
4	CAMPO DE MARTE	4	11/09/2016	11/03/2018	1	2	0.175	0.2	-0.1	0.5	0.495	0	0	-2.4	-0.4	1.8	0.4	0.6
5	CAMPO DE MARTE	6	16/05/2018	14/01/2020	2	2	0.132	0.1	-0.1	0.4	0.422	-0.2	0	0.2	-4.2	3.2	0.7	0.3
6	CHANCAY BANOS	1	1/04/2015	30/04/2017	3	2	-0.116	-0.1	-0.4	0.2	0.462	0	0	0.3	1.6	0.4	-0.9	-1.4
7	CHANCAY BANOS	3	2/01/2018	9/02/2019	2	1	-0.141	-0.15	-0.4	0.2	0.454	0.5	1.5	-1.3	-2	-0.3	1.8	-0.3
8	CHANCAY BANOS	6	21/09/2019	29/06/2021	7	2	-0.06	0	-0.3	0.2	0.444	0.2	0.2	0.2	-3	0.5	1.8	0.2
9	CRUCERO ALTO	1	8/04/2014	21/09/2019	10	6	-0.268	-0.3	-0.6	0.1	0.628	0.2	0.8	1	0.8	-0.3	-1.4	-1.1
10	CRUCERO ALTO	2	23/09/2019	30/05/2021	17	2	-0.268	-0.2	-0.7	0.1	0.697	0.4	1	1.2	-0.8	0.6	-1.8	-0.6
11	HUAMBOS	1	1/04/2015	11/09/2016	2	1	-0.049	-0.1	-0.2	0.1	0.318	-0.4	-0.2	0.2	0.2	1.3	-0.6	-0.6
12	HUAMBOS	2	13/09/2016	31/03/2019	3	3	-0.092	-0.1	-0.3	0.1	0.396	-0.1	-0.6	0.7	1.7	1.3	-1.8	-1.2
13	JULIACA	1	22/08/2013	13/01/2015	24	1	0.107	0.1	-0.1	0.3	0.322	0.3	-0.8	-1	-1.8	1	1.8	0.5
14	JULIACA	2	15/01/2015	10/04/2018	14	3	0.043	0	-0.2	0.2	0.357	0	0.2	0.3	-2.6	0.9	0.9	0.3
15	JULIACA	5	30/07/2018	30/01/2021	22	3	0.034	0	-0.2	0.2	0.356	0.3	-0.4	0.1	0.1	-1	1.4	-0.6
16	MOQUEGUA	3	11/11/2001	4/10/2005	37	4	0.341	0.3	0.2	0.5	0.355	-0.2	-1.2	-1.9	-1.6	2.1	2.5	0.3
17	MOQUEGUA	4	6/10/2005	10/02/2012	6	6	0.286	0.3	0	0.5	0.434	0	-1.2	-0.7	0.1	0.7	1.2	0
18	MOQUEGUA	6	29/05/2012	31/08/2015	12	3	0.304	0.3	0.1	0.5	0.433	-0.1	-0.6	-0.5	-5	1.7	3.3	1.1
19	MOQUEGUA	13	12/07/2018	10/03/2020	2	2	0.089	0.1	-0.2	0.4	0.437	0	0	-0.5	0.2	-2.3	1.3	1.3
20	MORROPON	2	10/04/2015	22/05/2017	31	2	-0.067	-0.1	-0.3	0.2	0.424	-0.2	-0.2	0.2	0.4	1.1	-0.4	-0.9
21	MORROPON	5	10/04/2018	15/03/2020	12	2	-0.097	-0.1	-0.4	0.2	0.437	0	-0.3	1	-0.2	0.3	1	-1.8
22	PILLONES	1	8/04/2014	2/04/2018	9	4	-0.37	-0.4	-0.8	0	0.749	0.2	1.6	0.9	1.7	-0.2	-2.6	-1.6
23	PILLONES	2	4/04/2018	1/08/2019	5	1	-0.211	-0.4	-0.6	0.1	0.757	-0.2	0	-0.9	3.7	-2	0.9	-1.5
24	PILLONES	3	3/08/2019	29/04/2021	46	2	-0.444	-0.5	-0.8	-0.2	0.567	0	1.5	1.7	2.3	-1.7	-1.7	-2
25	PUNO	1	5/12/2013	30/01/2021	19	7	0.168	0.2	-0.3	0.6	0.747	0	-0.3	-0.2	-2.2	1.7	1.4	-0.3
26	SAN MARCOS	1	1/03/2012	2/10/2013	6	2	-0.069	0	-0.4	0.3	0.528	-0.2	-0.4	-0.2	4.9	-2.6	-1.3	-0.4
27	SAN MARCOS	3	11/11/2013	6/09/2016	9	3	-0.117	-0.1	-0.4	0.2	0.513	0.1	0.2	0.2	2.5	0	-1.3	-1.7
28	SAN MARCOS	5	12/04/2017	28/06/2021	5	4	-0.094	0	-0.4	0.3	0.576	0	-0.2	0.2	2.5	0.5	-1.5	-1.5

El valor promedio (o sesgo promedio), mediana, primer cuartil, tercer cuartil y desviación estándar se calculan a partir del periodo identificado para cada subserie de diferencia de datos de temperatura máxima.

El valor del sesgo promedio calculado en cada subserie, se observan valores cercanos a cero. El valor de sesgo promedio más alejado del 0 es de -0.444. Este último se calculó a partir de los datos de la diferencia correspondiente a la tercera subserie analizada para la estación Pillones. Se debe precisar, que para dicho periodo de tiempo, el porcentaje de datos faltantes es de 46%, lo cual se puede considerar un problema al realizar un ajuste de la serie de datos.

En la estación Cabo Inga, los valores del sesgo promedio, calculado a partir mediciones de temperatura máxima de la EMA y la EMC, son -0.149 y 0 para la subserie 1 y 2, respectivamente. En la subserie 1, la EMA sobrestima eventos MF, MC y EC, y subestimación de eventos FR, NOR y CA. En la subserie 2, la EMA subestima eventos NOR.

En la estación Campo de Marte, los valores del sesgo promedio son -0.035, 0.175 y 0.132 para la subserie 1, 4 y 6, respectivamente. En la subserie 1, la EMA sobrestima eventos NOR y subestima eventos FR. En la subserie 4, la EMA sobrestima eventos FR y subestima eventos CA. En la subserie 6, la EMA sobrestima eventos NOR y subestima eventos CA.

En la estación Chancay Baños, los valores del sesgo promedio son -0.116, -0.141 y -0.06 para la subserie 1, 3 y 6, respectivamente. En la subserie 1, la EMA sobrestima eventos EC y subestima eventos NOR. En la subserie 3, la EMA sobrestima eventos FR y NOR, y subestima eventos MF y MC. En la subserie 6, la EMA sobrestima eventos NOR y subestima eventos MC.

En la estación Crucero Alto, el valor del sesgo promedio es igual a -0.268 para las dos subseries identificadas. En la subserie 1, la EMA sobrestima eventos MC y EC, y subestima eventos FR. En la subserie 2, la EMA sobrestima eventos MC, y subestima eventos MF y FR.

En la estación Huambos, los valores del sesgo promedio son -0.049 y -0.092 para las subseries 1 y 2, respectivamente. En la subserie 1, la EMA subestima eventos CA. En la subserie 2, la EMA sobrestima MC y EC, y subestima eventos NOR y CA.

En la estación Juliaca, los valores del sesgo promedio son 0.107, 0.043 y 0.034 para las subseries 1, 2 y 5 respectivamente. En la subserie 1, la EMA sobrestima eventos NOR y subestima eventos CA y MC. En la subserie 2, la EMA sobrestima eventos NOR. En la subserie 5, la EMA sobrestima CA y subestima MC.

En la estación Moquegua, los valores del sesgo promedio son 0.341, 0.286, 0.304 y 0.089 para la subserie 3, 4, 6 y 13, respectivamente. En la subserie 3, la EMA sobrestima eventos MF, FR y NOR, y subestima eventos CA y MC. En la subserie 4, la EMA sobrestima eventos MF y subestima eventos MC. En la subserie 5, la EMA subestima eventos CA, MC y EC. En la subserie 13, la EMA sobrestima eventos CA y subestima eventos MC.

En la estación Morropón, los valores del sesgo promedio son -0.067 y -0.097 para la subserie 2 y 5, respectivamente. En la subserie 2, la EMA subestima eventos CA. En la subserie 3, la EMA sobrestima eventos EC y subestima eventos MC y FR.

En la estación Pillones, los valores del sesgo promedio son -0.37, -0.211 y -0.444 para la subserie 1, 2 y 3, respectivamente. En la subserie 1, la EMA sobrestima eventos MC y EC, y subestima eventos MF y NOR. En la subserie 2, la EMA sobrestima eventos CA y EC, y subestima eventos NOR. En la subserie 3, la EMA sobrestima eventos MF, FR y NOR, y subestima eventos CA, MC y EC.

En la estación Puno, el valor del sesgo promedio es 0.168, para la única subserie seleccionada. Para dicha subserie, la EMA sobrestima eventos NOR y subestima eventos CA y MC.

En la estación San Marcos, los valores del sesgo promedio son -0.069, -0.117 y -0.094 para la subserie 1, 3 y 5, respectivamente. En la subserie 1, la EMA sobrestima eventos CA y MC, y subestima eventos NOR. En las subseries 3 y 5, la EMA subestima eventos NOR y sobrestima eventos MC y EC.

4 DISCUSIONES

En el caso específico de mediciones en paralelo entre una EMC y una EMA que reportan datos de temperatura máxima y mínima de forma horaria (EMA Cajabamba, Celendin, Huac-Huas, Juliaca, Matucana, Pampa de Majes y Puno), se debe analizar los datos de forma detallada, debido a la diferencia significativa identificada entre los valores medidos por los dos tipos de estaciones. Dichas diferencias exceden ampliamente el rango de variación considerado (valores de la diferencia mayores menores o iguales a 2°C y mayores o iguales a -2°C). Como resultado de la aplicación de dicho criterio (durante el control de calidad), el porcentaje de datos faltantes se incrementa. Por tal motivo, dichas estaciones no son consideradas durante las siguientes etapas del procedimiento establecido (Anexo 1).

Según la OMM (2020), se debe considerar periodos homogéneos para realizar la comparación de mediciones en paralelo, lo cual no se cumple en la mayoría de estaciones seleccionadas, y se evidencia en la cantidad de subseries identificadas por cada estación. En el caso específico de la estación Moquegua, se presentan 14 y 15 subseries (Tabla N° 5) para el periodo de mediciones en paralelo de temperatura mínima y temperatura máxima, respectivamente (20 años de mediciones en paralelo). Lo ideal es contar con series de mediciones paralelo completas, con una extensión de datos amplia (para realizar un mejor análisis) y homogéneas. Lo mencionado es fundamental, pues son consideraciones que se deben tomar en cuenta al momento de elegir la metodología de homogenización (OMM, 2020).

Al revisar los resultados correspondientes a las series de datos de temperatura máxima, los valores del sesgo promedio de todas las subseries analizadas varían entre -0.444 y 0.341

(Tabla N° 7), lo cual es lo esperado. Según lo mencionado por la OMM (2018) y Augter (2013), no deben existir diferencias significativas entre los valores medidos por ambos tipos de estaciones, si estos comparten emplazamiento.

Según OMM (2017a), la EMA mide valores de temperatura máxima más altos. Como consecuencia, a partir de los datos de la EMA se sobrestiman eventos CA, MC o EC. En algunos casos no se cumplió lo mencionado (estaciones Moquegua, Chancay y Campo de Marte), lo cual se podría explicar por la configuración del equipo, lectura incorrecta del instrumental, falla del equipo o instrumental, entre otras posibles causas.

Al revisar los resultados correspondientes a las series de datos de temperatura mínima, los valores del sesgo promedio de todas las subseries analizadas varían entre -0.707 y 0.972 (Tabla N° 6), dichos valores son mayores a los obtenidos en las mediciones en paralelo de temperatura máxima (para las mismas estaciones). De igual manera, la diferencia entre el porcentaje de eventos sobrestimados o subestimados por la EMA (a partir de datos de mediciones de temperatura mínima) durante el periodo de mediciones en paralelo, es mucho mayor a los resultados obtenidos a partir de los datos de temperatura máxima.

En el caso de la cuantificación de eventos, a partir de las mediciones en paralelo de temperatura mínima, las estaciones analizadas subestiman o sobrestiman de diferente manera los eventos considerados. En el caso de la estación Chancay Baños, Huambos, Morropon y Pillonos, se sobrestiman eventos NOR y subestiman eventos CA, MC y/o EC. De manera opuesta, la estación Crucero Alto y Moquegua subestiman eventos NOR y sobrestiman eventos CA, MC y/o EC. Por otra parte, las estaciones Cabo Inga y San Marcos sobrestiman eventos EF, MF, FR y/o NOR, y subestiman eventos CA, MC y/o EC. Considerando que la OMM (2017a) manifiesta que la EMA registra valores de temperaturas mínimas más bajos, por tal motivo, a partir de los datos de la EMA se sobrestiman eventos FR, MR y EF, lo cual solo cumplen las estaciones Cabo Inga y San Marcos.

La OMM (2017a) menciona que los sensores de medición de temperatura tienen un tiempo de respuesta menor que los termómetros de vidrio. Por tal motivo los sensores pueden captar fluctuaciones de temperatura ocurridas en un lapso de tiempo reducido. Como resultado, se tienen temperaturas máximas más altas. En el caso de la categorización de datos de temperatura a partir de percentiles, lo mencionado, se refleja como mayor cantidad (sobrestimación) de eventos CA, MC y EC para la temperatura máxima. Considerando los resultados obtenidos para temperatura máxima, las estaciones Chancay Baños, Campo de Marte, Juliaca y Moquegua no cumplen con lo mencionado.

Los valores de la diferencia promedio de los datos de temperatura máxima son más cercanos a cero (lo ideal es que los valores de la diferencia promedio sean iguales a cero), en comparación con los valores de la diferencia promedio de los datos de temperatura mínima.

De igual manera, el porcentaje de eventos categorizados como EF, MF, FR NOR, CA, MC y EC, a partir de datos de temperatura mínima, presenta valores elevados en comparación con los resultados obtenidos a partir de los datos de temperatura máxima.

5 CONCLUSIONES

- Existe diferencia significativa entre los datos medidos por algunas EMC y EMA (Bocatoma El Ayro, Cajabamba, Chavín, Lancones, Pampa de Majes, Paucaray y Tarma). Por tal motivo, se recomienda continuar realizando mediciones en paralelo hasta homologar correctamente los valores, detectar la posible causa de dicha diferencia entre mediciones (calibración, comparación, inspección de la estación, supervisión de actividad de medición del observador u otro medio), dar solución de la causa identificada y verificar si los valores de la diferencia entre mediciones se reduce.
- En un periodo de mediciones en paralelo, utilizando el programa RHtestV4, se identificaron hasta 15 subseries para una estación (estación Moquegua). La cantidad de subseries que se identificaron por estación, se debe a la falta de homogeneidad existente durante el periodo de mediciones en paralelo.
- Al no contar con series de mediciones en paralelo homogéneas, lo cual difiere con lo mencionado por la OMM (2020), no se puede considerar toda la serie de mediciones en paralelo para realizar un procedimiento de ajuste.
- El sesgo promedio existente entre los datos de temperatura máxima medidos por las estaciones convencionales y automáticas consideradas varía entre -0.444 y 0.341.
- El sesgo promedio existente entre los datos de temperatura mínima medidos por las estaciones convencionales y automáticas consideradas varía entre -0.707 y 0.972.
- Considerando los datos de temperatura mínima medidos en paralelo se espera la sobrestimación de las mediciones con EMAs de eventos FR, MF y/o EF; lo cual solo se cumple en las estaciones Cabo Inga, Crucero Alto, San Marcos y Morropón.
- Considerando los datos de temperatura máxima medidos en paralelo se espera la sobrestimación de las mediciones con EMAs de eventos CA, MC y/o EC; lo cual solo se cumple en las estaciones Cabo Inga, Crucero Alto, Huambos, Pillones y San Marcos.
- Se identificaron valores porcentuales de sobrestimación y subestimación significativos en la clasificación de eventos a partir de datos de temperatura mínima. Sumado a esto, los valores del sesgo promedio también son más elevados, comparando con los resultados obtenidos a partir de datos de temperatura máxima. Se puede concluir, que la diferencia existente entre las mediciones de temperatura mínima es más significativa y evidente, que la diferencia existente entre mediciones de temperatura máxima.

6 BIBLIOGRAFÍA

- Acquavotta F.; Fratianni S.; Aguilar E.; Fortin G. (2019) Influence of instrumentation on long temperature time series. *Climate Change*, 156, 385–404. <https://doi.org/10.1007/s10584-019-02545-z>
- Augter G. 2013. *Berichte des Deutschen Wetterdienstes: Vergleich der Referenzmessungen des Deutschen Wetterdienstes mit automatisch gewonnenen Messwerten.*
- Gilabert A. (2016). *Assessment of the bias introduced by the automatisisation of climate records combining climatological and metrological approaches.* PhD Tesis, Universitat Rovira I Virgili.
- Hannak L.; Friedrich K.; Imbery F.; Kaspar F. (2020). Analyzing the impact of automatization using parallel daily mean temperature series including breakpoint detection and homogenization. *International Journal of Climatology*, 40, 6544-6559. <https://doi.org/10.1002/joc.6597>
- Kaspar F.; Hannak L.; Schreiber K. (2016). Climate reference stations in Germany: Status, parallel measurements and homogeneity of temperature time series. *Advances in science & research*, 13, 163-171. <https://doi.org/10.5194/asr-13-163-2016>
- Organización Meteorológica Mundial (OMM). (2017a). *Desafíos en la transición de las redes de observaciones meteorológicas convencionales a las automáticas en registros climáticos a largo plazo.* OMM-N°1202. Suiza.
- Organización Meteorológica Mundial (OMM). (2017b). *Directrices de la Organización Meteorológica Mundial sobre la generación de un conjunto definido de productos nacionales de vigilancia del clima.* OMM-N°1204. Suiza.
- Organización Meteorológica Mundial (OMM). (2017c). *Directrices de la Organización Meteorológica Mundial sobre el cálculo de las normales climáticas.* OMM-N°1204. Suiza.
- Organización Meteorológica Mundial (OMM). (2017d). *Guía Instrumentos y Métodos de Observación Meteorológicos.* OMM-N°8. Suiza.
- Organización Meteorológica Mundial (OMM). (2018). *Guía de prácticas climatológicas.* OMM-N°100. Suiza.
- Organización Meteorológica Mundial (OMM). (2020). *Directrices sobre homogeneización.* OMM-N°1245. Suiza.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). (2021a). *Control de calidad automático de datos de estaciones meteorológicas convencionales en el centro de procesamiento de datos del SENAMHI. Manual Técnico: MT-DRD-003.* Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). (2021b). *Control de calidad de datos de estaciones meteorológicas e hidrológicas automáticas en el*

centro de procesamiento de datos del SENAMHI. Manual Técnico: MT-DRD-002.
Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI.

- Wang X.; Feng Y. (2013). RHtetstV4 user manual. Canada

7 ANEXO 1: Estaciones con valores de diferencia significativa entre mediciones de temperatura convencionales y automáticas.

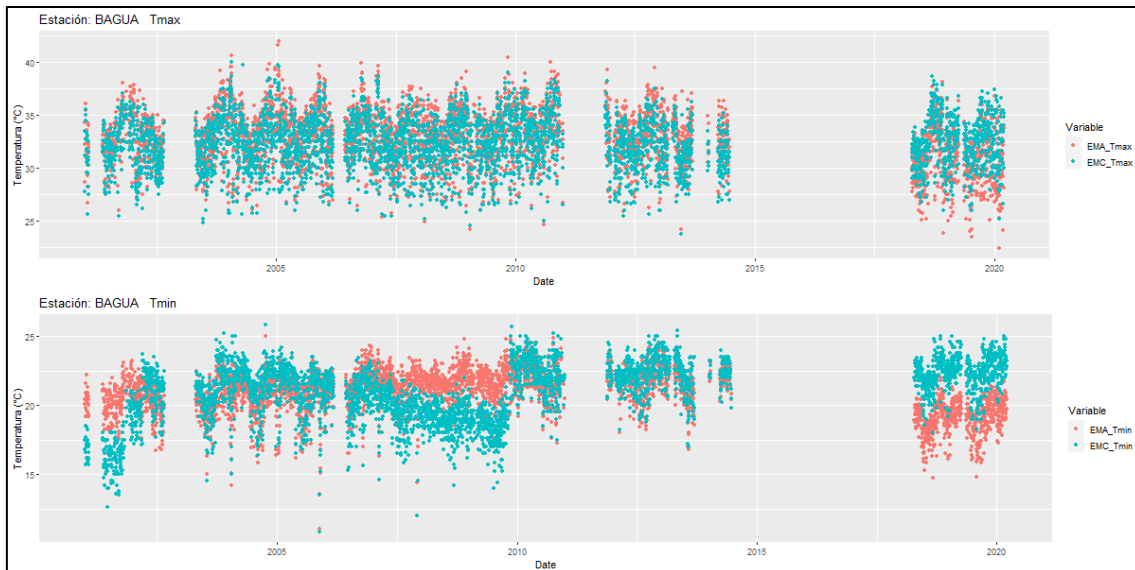


Figura 5. Datos de temperatura máxima (Bagua Tmax) y temperatura mínima (Bagua Tmin) medidos en paralelo por la EMA y EMC Bagua.

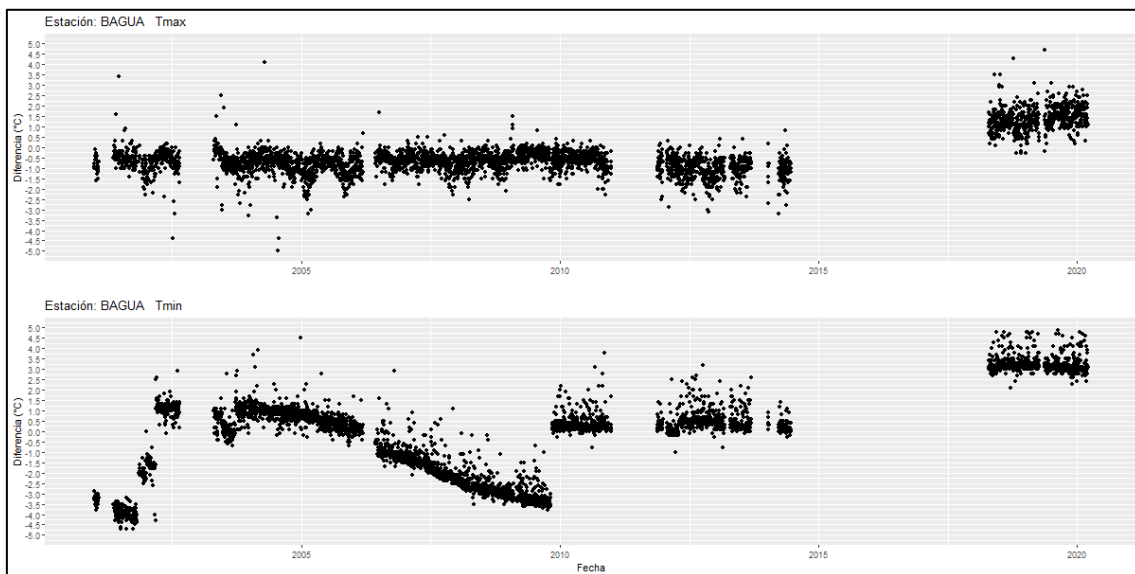


Figura 6. Valores de la diferencia de datos medidos por la EMA y EMC Bagua, de temperatura máxima (Bagua Tmax) y temperatura mínima (Bagua Tmin).



Figura 7. Datos de temperatura máxima (Chavin Tmax) y temperatura mínima (Chavin Tmin) medidos en paralelo por la EMA y EMC Chavin.

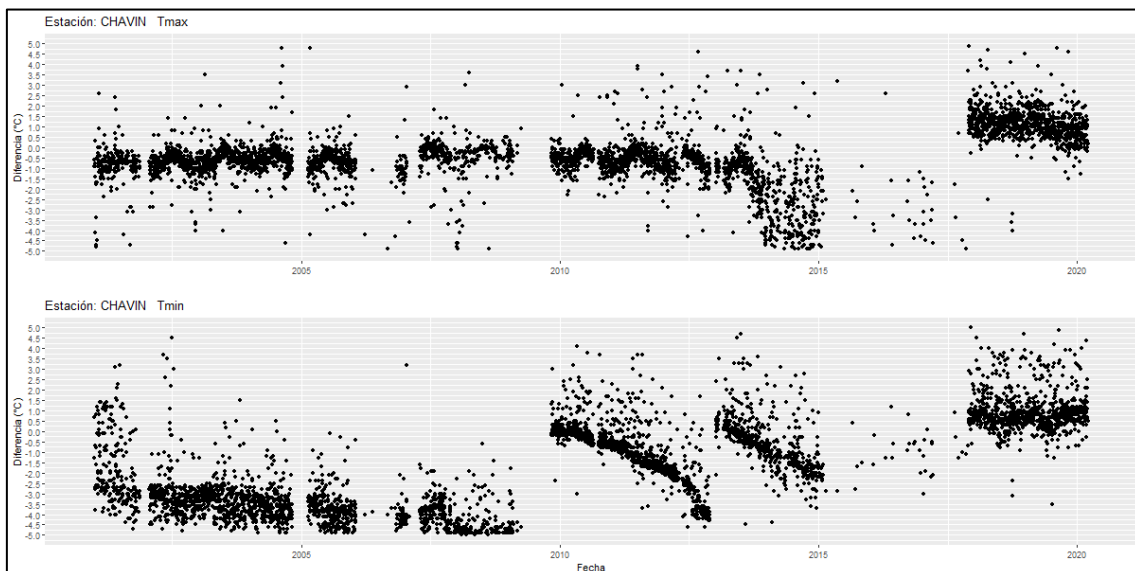


Figura 8. Valores de la diferencia de datos medidos por la EMA y EMC Chavin, de temperatura máxima (Chavin Tmax) y temperatura mínima (Chavin Tmin).

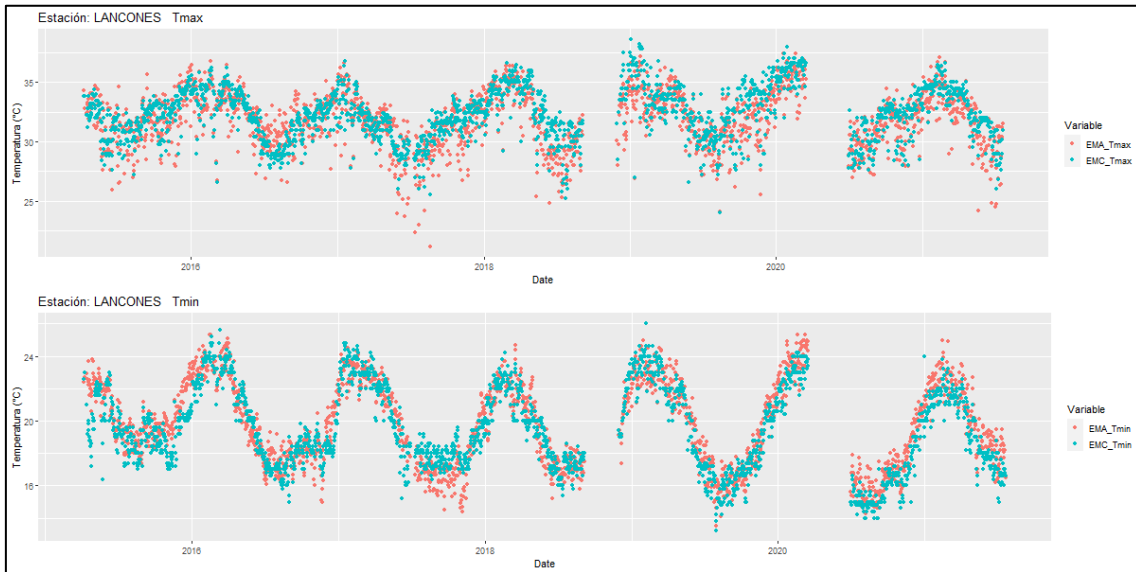


Figura 9. Datos de temperatura máxima (Lancones Tmax) y temperatura mínima (Lancones Tmin) medidos en paralelo por la EMA y EMC Lancones.

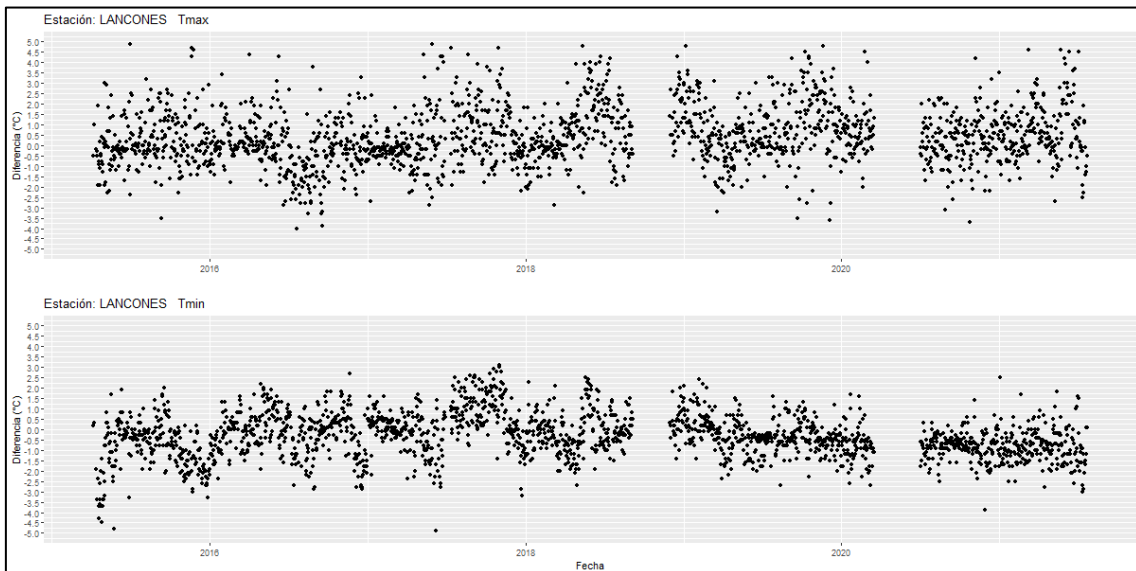


Figura 10. Valores de la diferencia de datos medidos por la EMA y EMC Lancones, de temperatura máxima (Lancones Tmax) y temperatura mínima (Lancones Tmin).



Figura 11. Datos de temperatura máxima (Pampa de Majes Tmax) y temperatura mínima (Pampa de Majes Tmin) medidos en paralelo por la EMA y EMC Pampa de Majes.

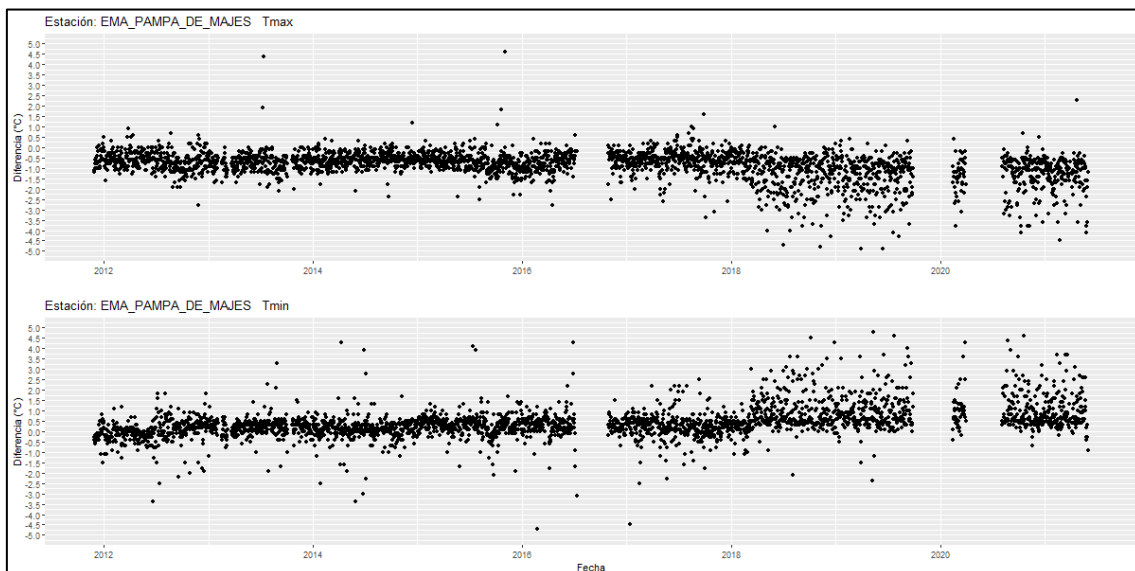


Figura 12. Valores de la diferencia de datos medidos por la EMA y EMC Pampa de Majes, de temperatura máxima (Pampa de Majes Tmax) y temperatura mínima (Pampa de Majes Tmin).

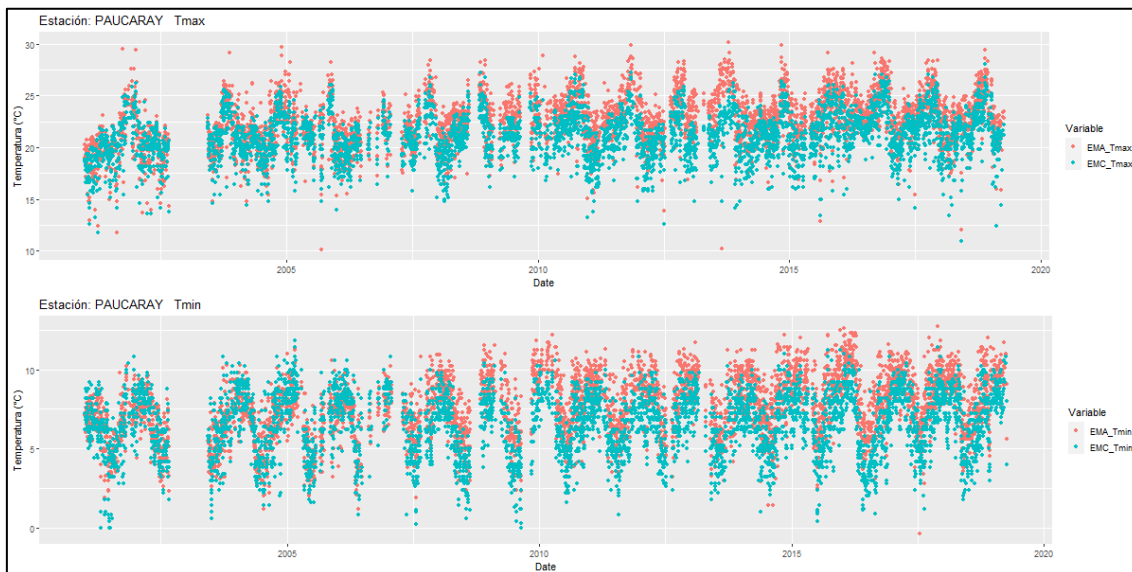


Figura 13. Datos de temperatura máxima (Paucaray Tmax) y temperatura mínima (Paucaray Tmin) medidos en paralelo por la EMA y EMC Paucaray.

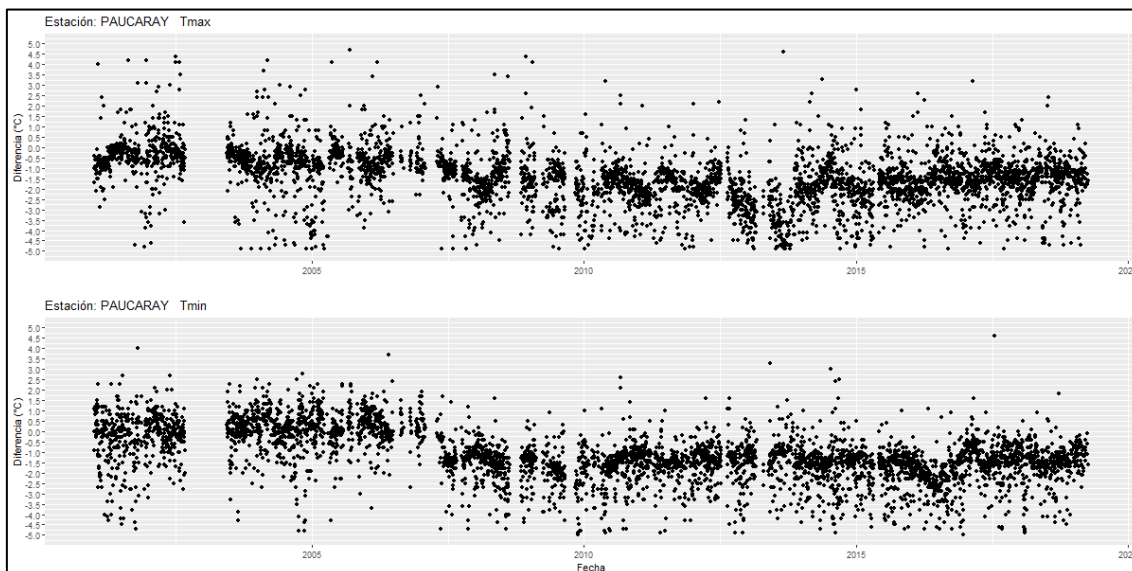


Figura 14. Valores de la diferencia de datos medidos por la EMA y EMC Paucaray, de temperatura máxima (Paucaray Tmax) y temperatura mínima (Paucaray Tmin).

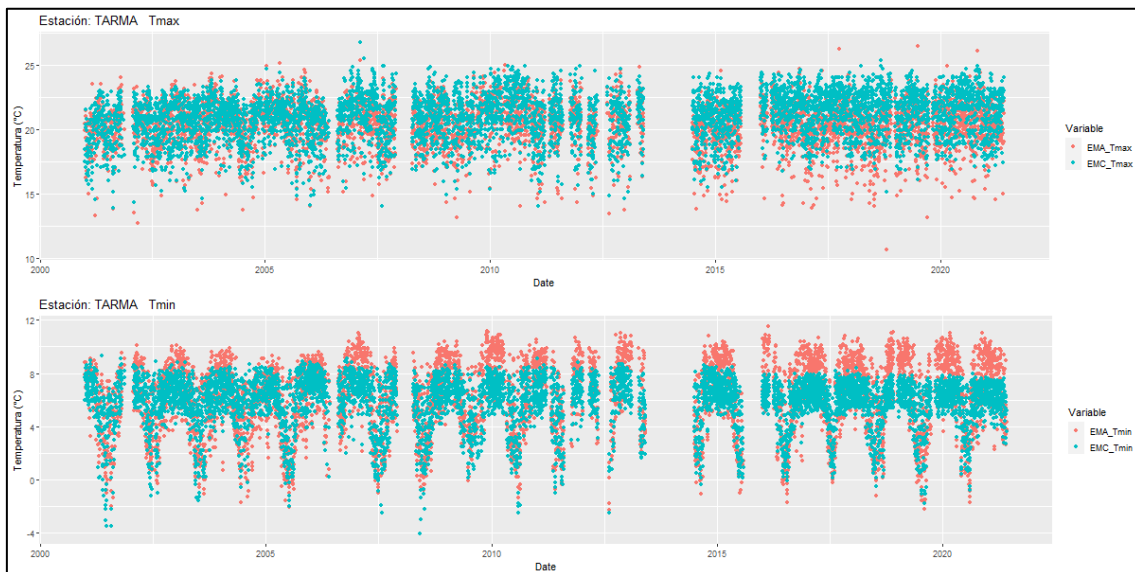


Figura 15. Datos de temperatura máxima (Tarma Tmax) y temperatura mínima (Tarma Tmin) medidos en paralelo por la EMA y EMC Tarma.

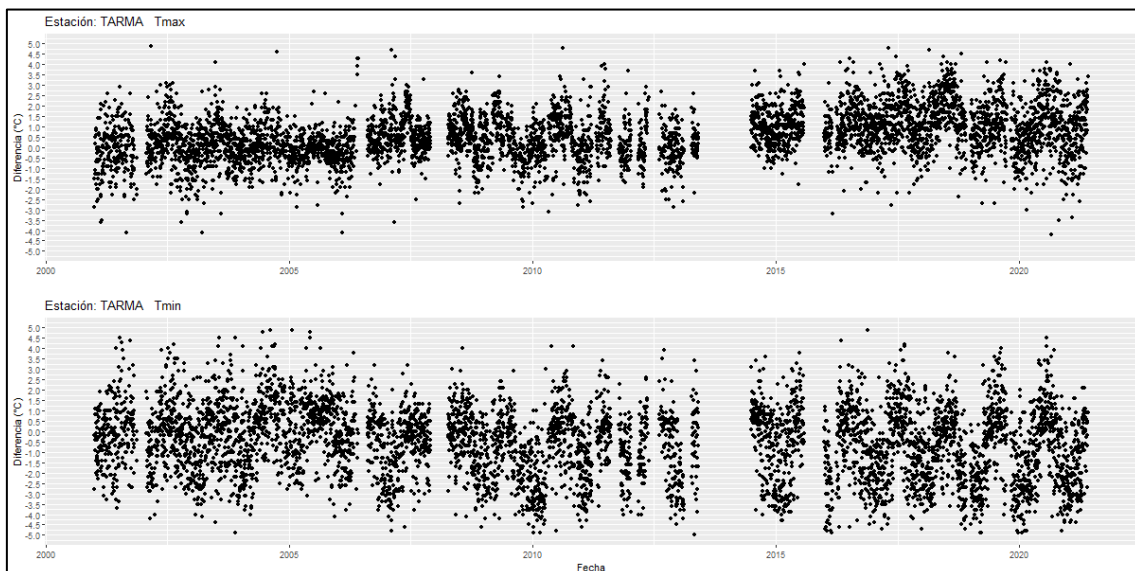


Figura 16. Valores de la diferencia de datos medidos por la EMA y EMC Tarma, de temperatura máxima (Tarma Tmax) y temperatura mínima (Tarma Tmin).

8 ANEXO 2: Estaciones seleccionadas con valores de diferencia mínima entre mediciones convencionales y automáticas.

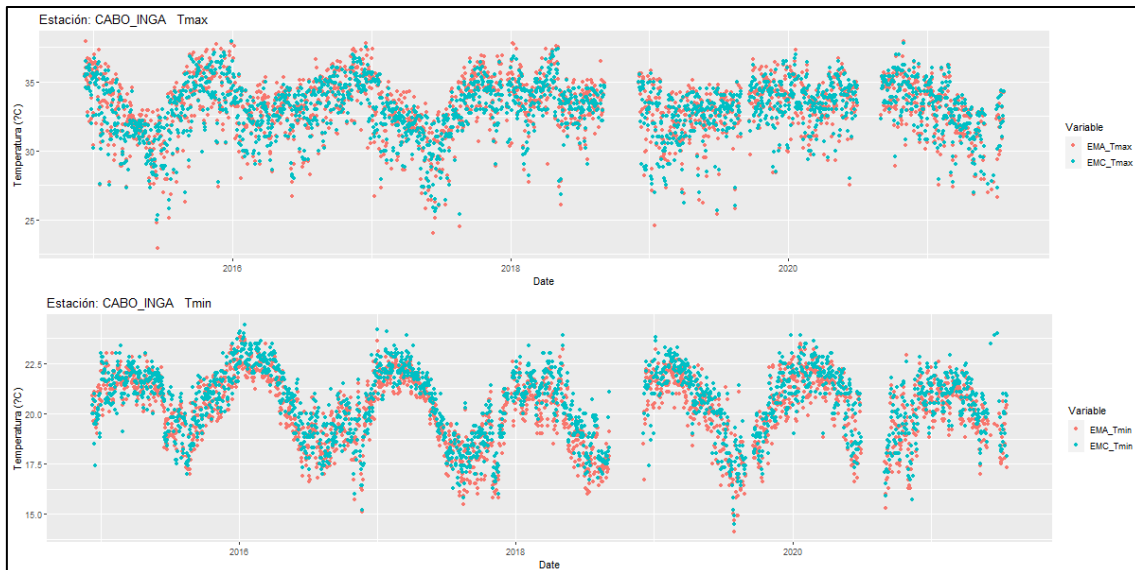


Figura 17. Datos de temperatura máxima (Cabo Inga Tmax) y temperatura mínima (Cabo Inga Tmin) medidos en paralelo por la EMA y EMC Cabo Inga.

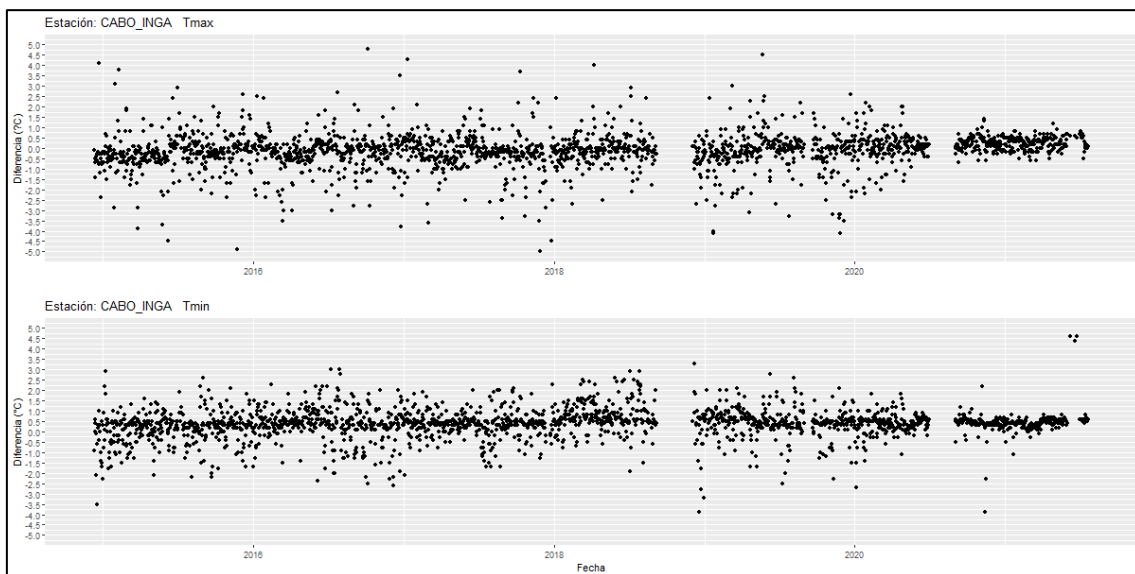


Figura 18. Valores de la diferencia de datos medidos por la EMA y EMC Cabo Inga, temperatura máxima (Cabo Inga Tmax) y temperatura mínima (Cabo Inga Tmin).

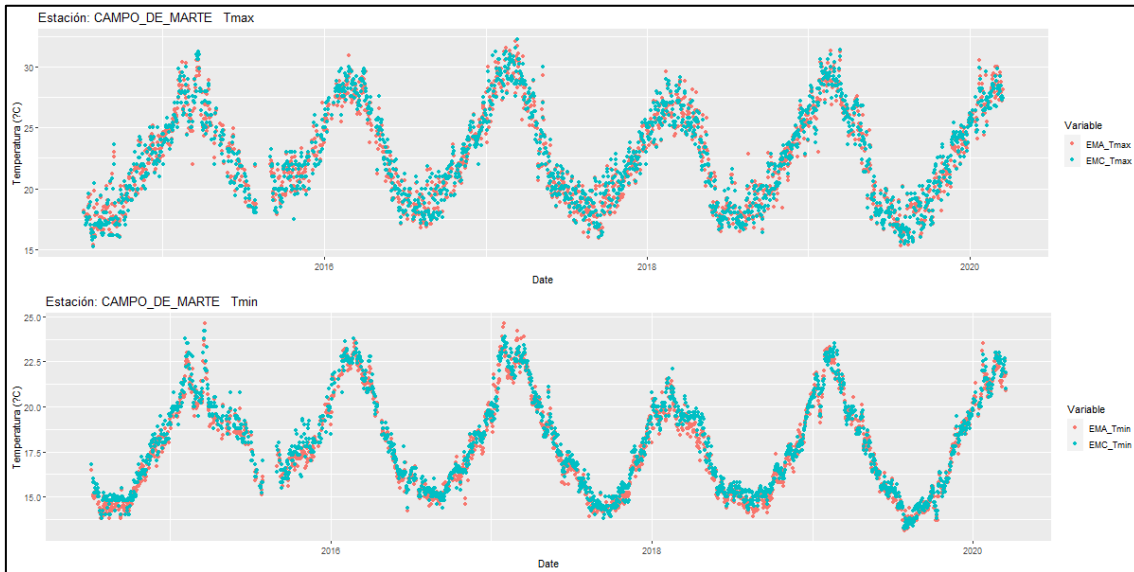


Figura 19. Datos de temperatura máxima (Campo de Marte Tmax) y temperatura mínima (Campo de Marte Tmin) medidos en paralelo por la EMA y EMC Campo de Marte.

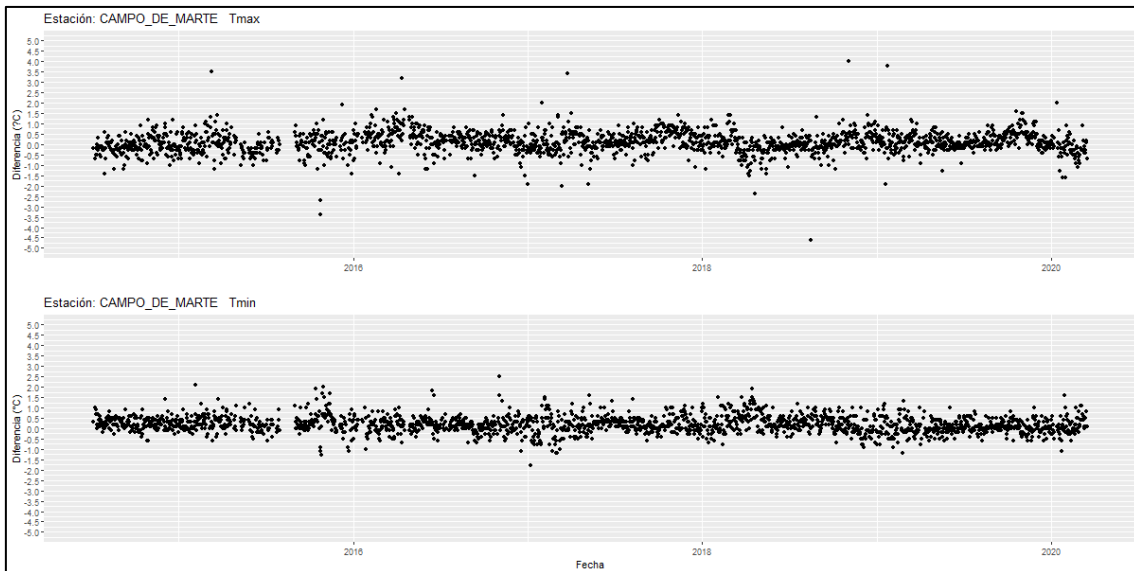


Figura 20. Valores de la diferencia de datos medidos por la EMA y EMC Campo de Marte, temperatura máxima (Campo de Marte Tmax) y temperatura mínima (Campo de Marte Tmin).

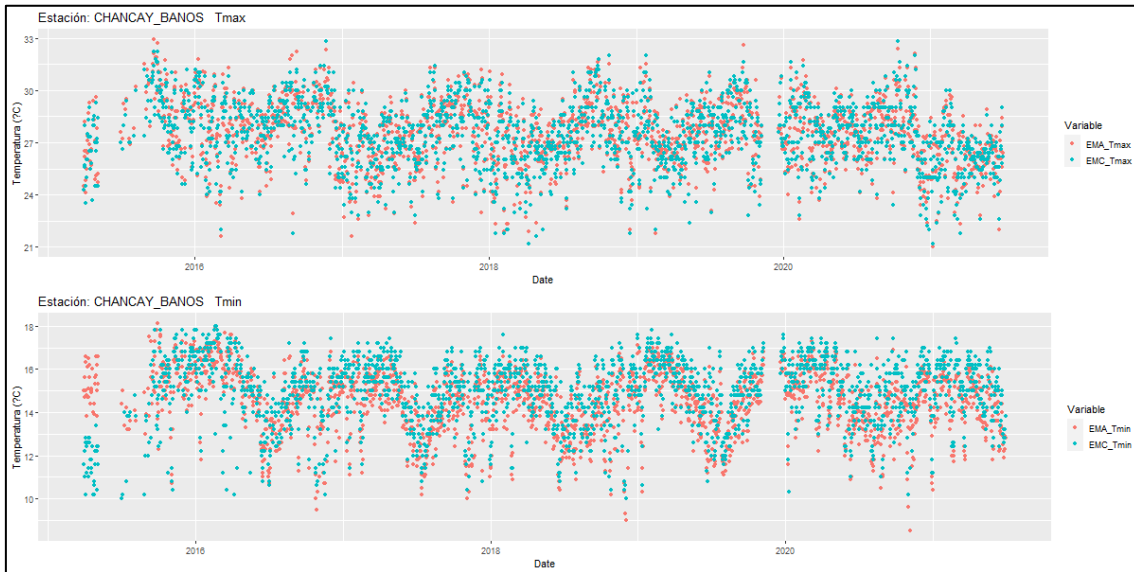


Figura 21. Datos de temperatura máxima (Chancay Banos Tmax) y temperatura mínima (Chancay Banos Tmin) medidos en paralelo por la EMA y EMC Chancay Baños.

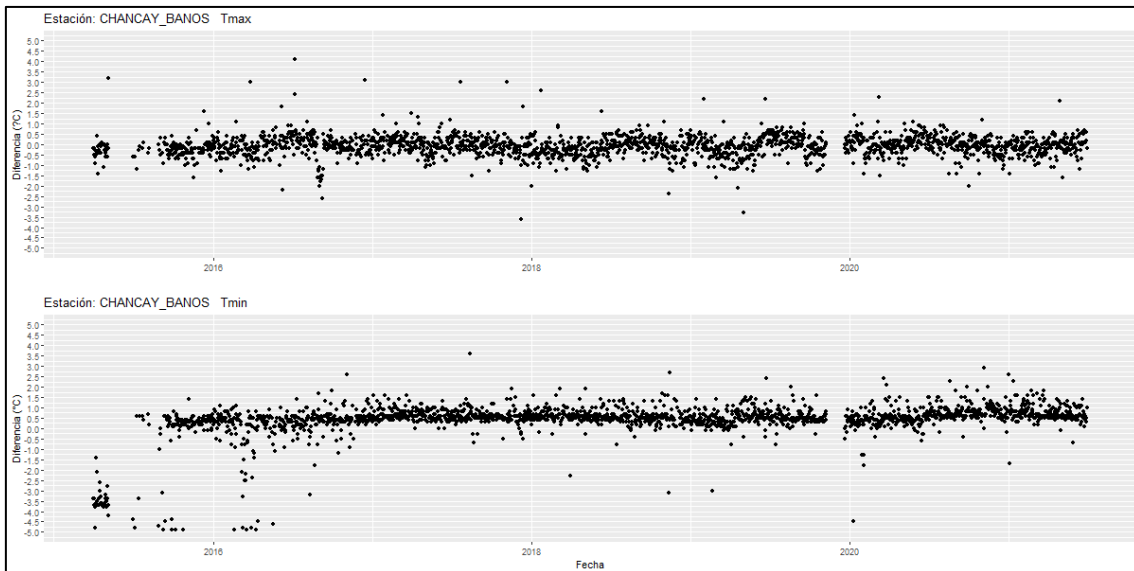


Figura 22. Valores de la diferencia de datos medidos por la EMA y EMC Chancay Baños, temperatura máxima (Chancay Banos Tmax) y temperatura mínima (Chancay Banos Tmin).

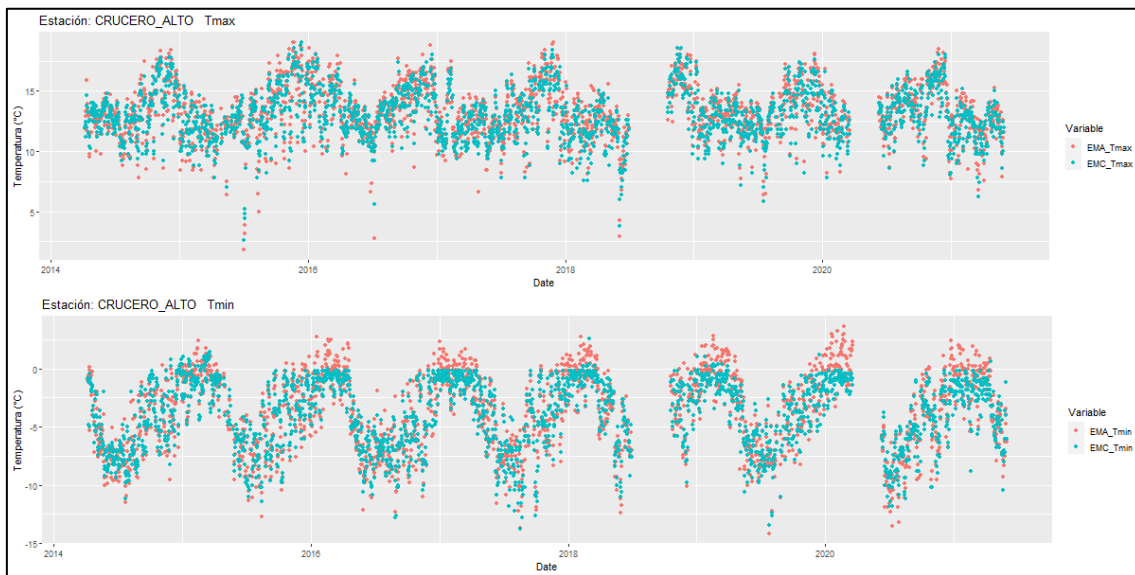


Figura 23. Datos de temperatura máxima (Crucero Alto Tmax) y temperatura mínima (Crucero Alto Tmin) medidos en paralelo por la EMA y EMC Crucero Alto.

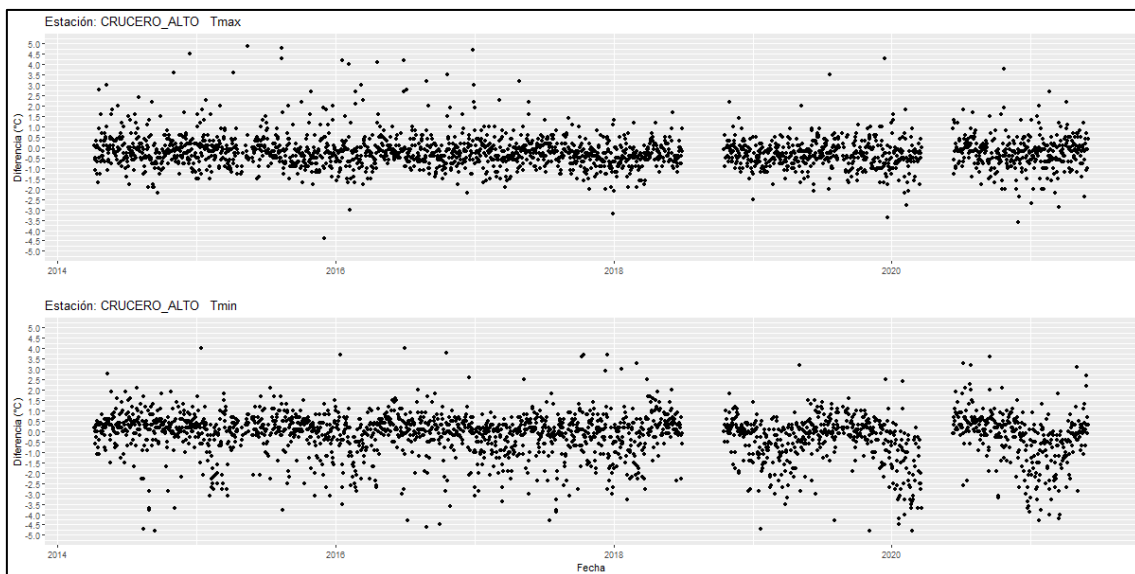


Figura 24. Valores de la diferencia de datos medidos por la EMA y EMC Crucero Alto, temperatura máxima (Crucero Alto Tmax) y temperatura mínima (Crucero Alto Tmin).

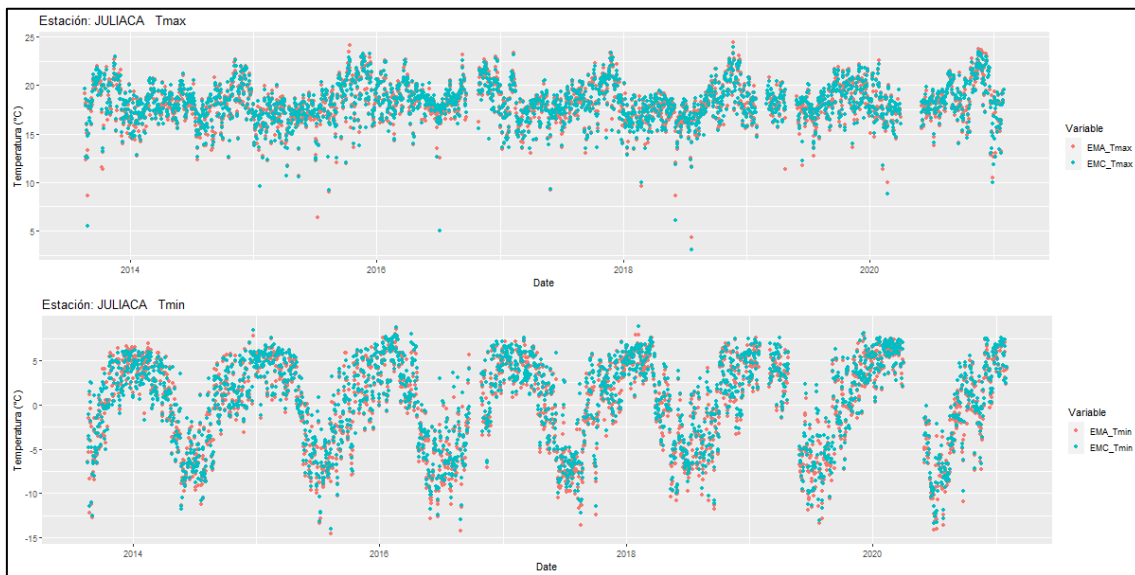


Figura 25. Datos de temperatura máxima (Juliaca Tmax) y temperatura mínima (Juliaca Tmin) medidos en paralelo por la EMA y EMC Juliaca.

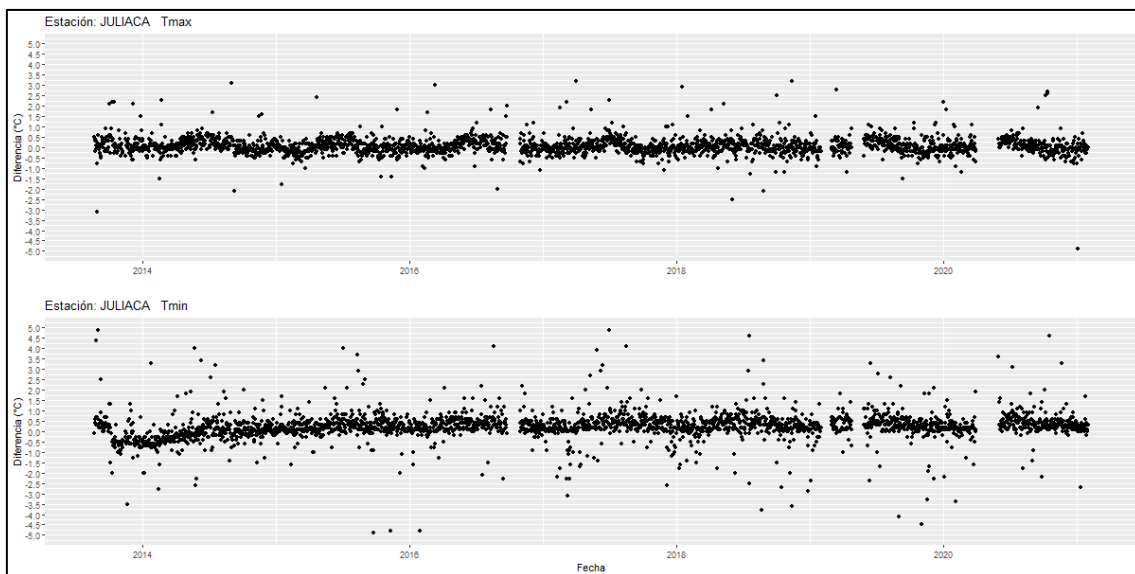


Figura 26. Valores de la diferencia de datos medidos por la EMA y EMC Juliaca, temperatura máxima (Juliaca Tmax) y temperatura mínima (Juliaca Tmin).



Figura 27. Datos de temperatura máxima (Moquegua Tmax) y temperatura mínima (Moquegua Tmin) medidos en paralelo por la EMA y EMC Moquegua.

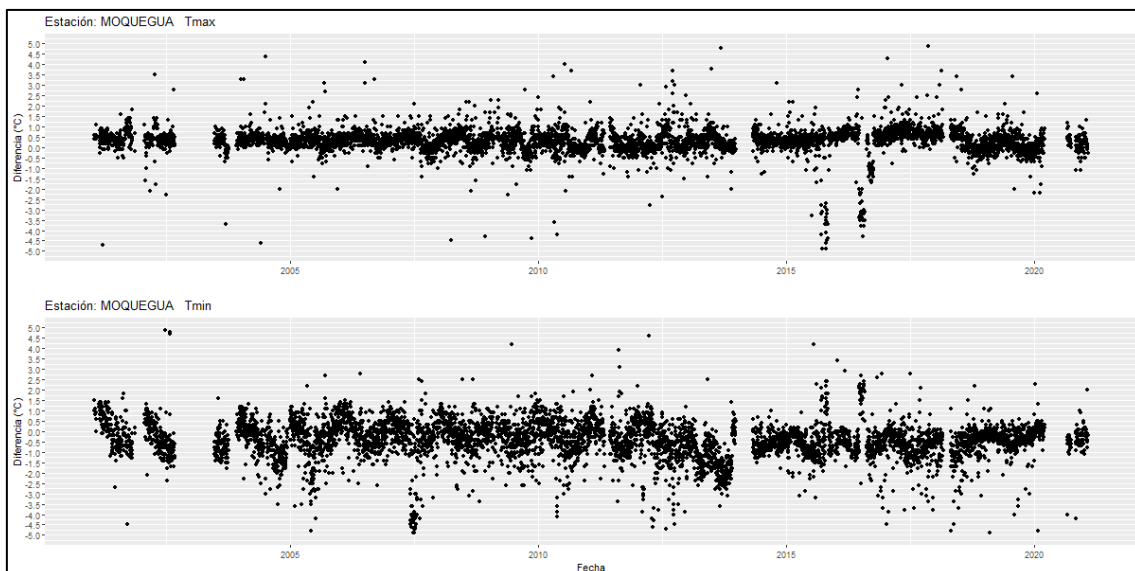


Figura 28. Valores de la diferencia de datos medidos por la EMA y EMC Moquegua, temperatura máxima (Moquegua Tmax) y temperatura mínima (Moquegua Tmin).

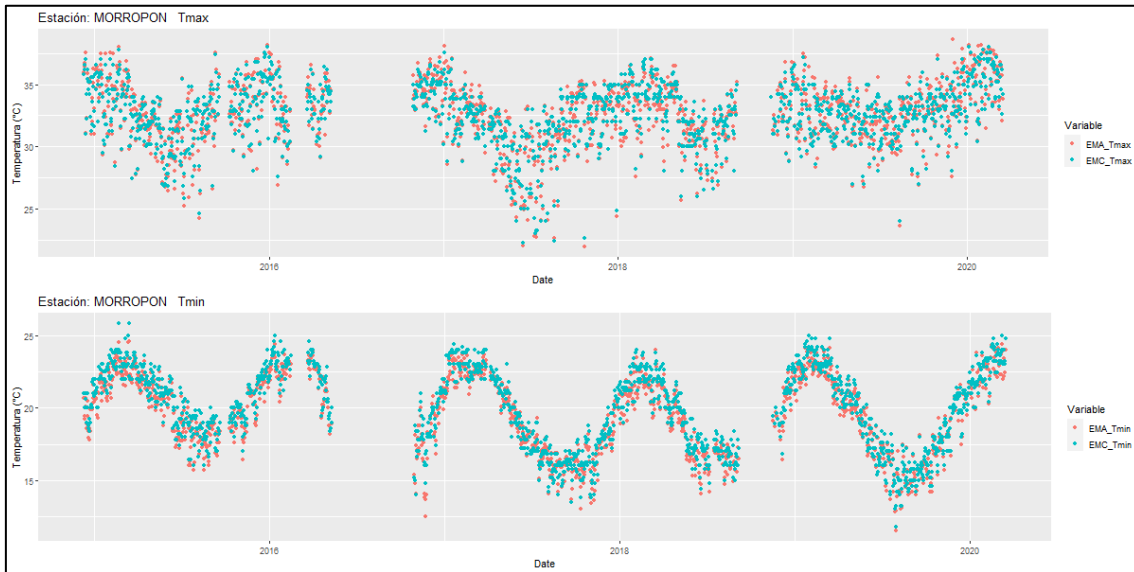


Figura 29. Datos de temperatura máxima (Morropon Tmax) y temperatura mínima (Morropon Tmin) medidos en paralelo por la EMA y EMC Morropon.

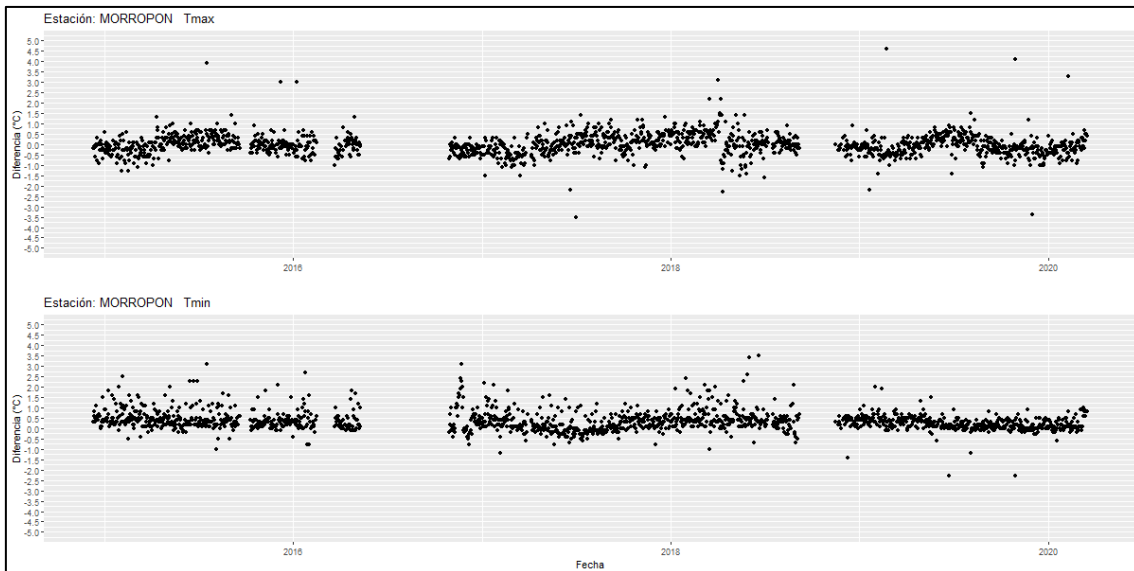


Figura 30. Valores de la diferencia de datos medidos por la EMA y EMC Morropon, temperatura máxima (Morropon Tmax) y temperatura mínima (Morropon Tmin).



Figura 31. Datos de temperatura máxima (Pillones Tmax) y temperatura mínima (Pillones Tmin) medidos en paralelo por la EMA y EMC Pillones.

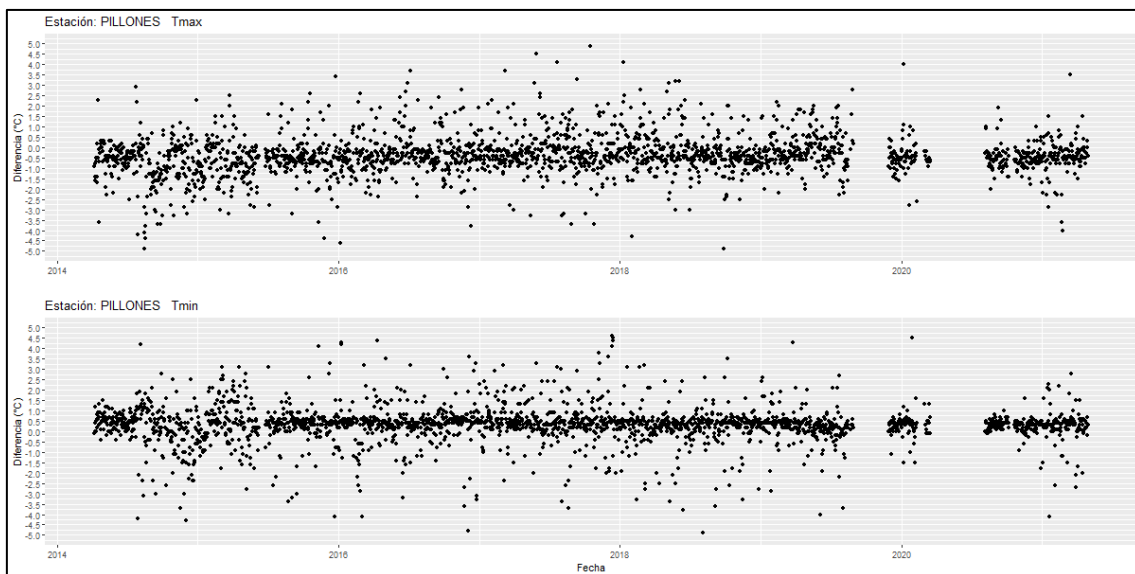


Figura 32. Valores de la diferencia de datos medidos por la EMA y EMC Pillones, temperatura máxima (Pillones Tmax) y temperatura mínima (Pillones Tmin).



Figura 33. Datos de temperatura máxima (Puno Tmax) y temperatura mínima (Puno Tmin) medidos en paralelo por la EMA y EMC Puno.

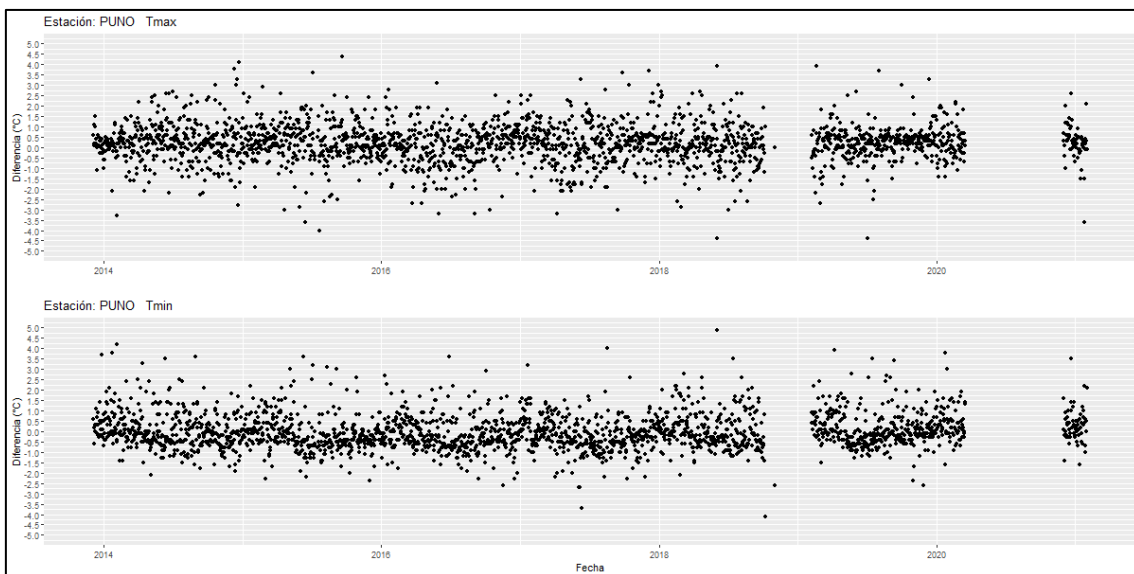


Figura 34. Valores de la diferencia de datos medidos por la EMA y EMC Puno, temperatura máxima (Puno Tmax) y temperatura mínima (Puno Tmin).



Figura 35. Datos de temperatura máxima (San Marcos Tmax) y temperatura mínima (San Marcos Tmin) medidos en paralelo por la EMA y EMC San Marcos.

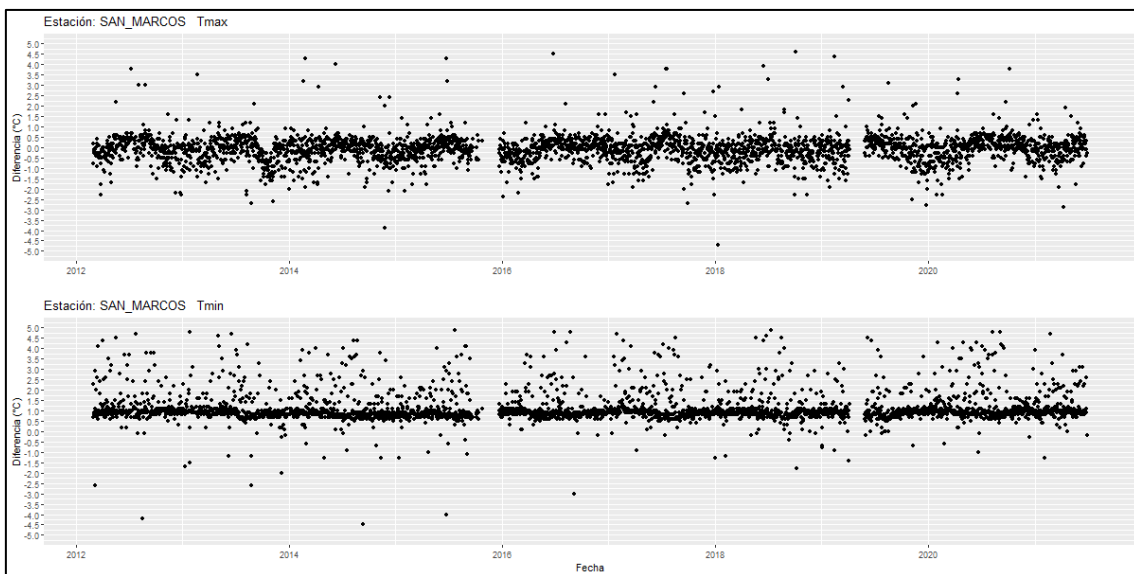


Figura 36. Valores de la diferencia de datos medidos por la EMA y EMC San Marcos, temperatura máxima (San Marcos Tmax) y temperatura mínima (San Marcos Tmin).