



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

1 de 2

Neiva, 21 de septiembre de 2022

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El (Los) suscrito(s):

Mayra Alexandra Soto Perdomo,

con C.C. No. 1.082.803.528,

Juan Rodrigo Ocampo Afanador,

con C.C. No. 7.723.280,

Diego Fernando Cortés Cardoso,

con C.C. No. 7.725.371,

Autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado titulado: Heterogeneidad en el registro de datos ambientales entre datos automáticos y manuales: Caso de estudio entre dos estaciones meteorológicas en el municipio de Pitalito – Huila, presentado y aprobado en el año 2022 como requisito para optar al título de Especialista en Estadística, Autorizo (amos) al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que, con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales “open access” y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores”, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

2 de 2

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: _____

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: _____

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: _____

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: _____



TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO: HETEROGENEIDAD EN EL REGISTRO DE DATOS AMBIENTALES ENTRE DATOS AUTOMÁTICOS Y MANUALES: CASO DE ESTUDIO ENTRE DOS ESTACIONES METEOROLÓGICAS EN EL MUNICIPIO DE PITALITO - HUILA

AUTOR O AUTORES:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Soto Perdomo Ocampo Afanador Cortés Cardoso	Mayra Alexandra Juan Rodrigo Diego Fernando

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre

ASESOR (ES):

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Bernal Castro	Edgar Andrés

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Especialista en Estadística

FACULTAD: Ciencias Naturales y Exactas

PROGRAMA O POSGRADO: Especialización en estadística

CIUDAD: Neiva AÑO DE PRESENTACIÓN: 2022 NÚMERO DE PÁGINAS: 117

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):

Diagramas___ Fotografías_x__ Grabaciones en discos___ Ilustraciones en general_x__ Grabados___
Láminas___ Litografías___ Mapas___ Música impresa___ Planos___ Retratos___ Sin ilustraciones___ Tablas
o Cuadros_x_

SOFTWARE requerido y/o especializado para la lectura del documento: No

MATERIAL ANEXO: No

PREMIO O DISTINCIÓN (En caso de ser LAUREADAS o Meritoria):

PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

<u>Español</u>	<u>Inglés</u>	<u>Español</u>	<u>Inglés</u>
1. EMA	AWS	6. Temperatura	Temperature
2. Climatología	Climatology	7. Precipitación	Precipitation
3. Verificación	Verification		
4. Sensores	Sensors		
5. Datos crudos	Raw data		



RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

El objetivo del presente trabajo fue realizar la comparación de los datos meteorológicos medidos por una estación convencional contra los mismos obtenidos por una automática, ambas estaciones están ubicadas en el municipio de Pitalito del departamento del Huila, estos datos fueron: temperatura máxima, temperatura mínima, temperatura bulbo seco (7:00, 13:00 y 19:00) y precipitación colectados de manera diaria y analizados de forma estadística y se comparó las variables utilizando la correlación para datos no normales de Spearman, Kolmogorov, el índice de consistencia e inconsistencia durante el periodo comprendido de enero de 2018 a diciembre de 2021. Se encontró, que para las variables temperatura máxima y temperatura mínima, se pueden usar indistintamente los datos de la estación meteorológica automática ya que los datos son semejantes y se pueden unificar en una sola serie histórica con el fin de tomar los datos directamente de la estación automática y retirar el componente mecánico de la estación convencional.

ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)

The objective of this work was to compare the meteorological data measured by a conventional station against data obtained by an automatic one, both stations are located in the municipality of Pitalito in the department of Huila, these data were: maximum temperature, minimum temperature, dry bulb temperature (7:00, 13:00 and 19:00) and precipitation collected daily and analyzed statistically, processing descriptively with the mean, median measures of dispersion, variance, standard deviation, likewise, the variables were compared using the Spearman, Kolmogorov correlation for non-normal data, the consistency and inconsistency index during the period from January 2018 to December 2021.

It was found that for the maximum temperature and minimum temperature variables, the data from the automatic weather station can be used interchangeably since the data are similar and can be unified into a single historical series in order to take the data directly from the automatic station and remove the mechanical component from the conventional station.

APROBACION DE LA TESIS

Nombre Jurado: **JAIME POLONIA PERDOMO**

Firma:

Nombre Jurado: **LEONARDO FABIO MEDINA ORTIZ**

Firma:



Heterogeneidad en el registro de datos ambientales entre datos automáticos y manuales:
Caso de estudio entre dos estaciones meteorológicas en el municipio de Pitalito - Huila

Mayra Alexandra Soto Perdomo

Juan Rodrigo Ocampo

Diego Fernando Cortés

Universidad Surcolombiana

Facultad de Ciencias Naturales y Exactas

Especialización en Estadística

Neiva

2022



Heterogeneidad en el registro de datos ambientales entre datos automáticos y manuales:
Caso de estudio entre dos estaciones meteorológicas en el municipio de Pitalito - Huila

Mayra Alexandra Soto Perdomo

Juan Rodrigo Ocampo

Diego Fernando Cortés

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar por el título de
Especialista en Estadística

Director

Edgar Andrés Bernal

MSc Ecología

Universidad Surcolombiana

Facultad de Ciencias Naturales y Exactas

Especialización en Estadística

Neiva

2022

Nota de aceptación

Jaime Polonia Perdomo
Jurado

Leonardo Fabio Medina Ortiz
Jurado

Edgar Andrés Bernal Castro
Director

Neiva, septiembre 16 de 2022

Dedicatoria

Se acabó un ciclo de muchas risas, dolores de cabeza, felicidad y frustraciones. Por lo tanto, este trabajo va dedicado a todos los que formaron parte de esta etapa de nuestra vida.

Mayra, Juan y Diego

Agradecimientos

Se desea expresar agradecimientos a:

EDGAR ANDRES BERNAL CASTRO, Biólogo y Ecólogo, Jefe de programa de Biología Aplicada, profesor del Programa de Especialización en Estadística, Universidad Surcolombiana y Director del Proyecto, por la orientación y apoyo permanente.

JAIME POLANIA PERDOMO, Estadista, MSc en Estadística, Coordinador del Programa de Especialización en Estadística, Universidad Surcolombiana y jurado del trabajo de grado, por toda su colaboración y sus aportes académicos.

LEONARDO FABIO MEDINA ORTIZ, Licenciado en Matemáticas e Ingeniero Industrial, MSc en Estudios interdisciplinarios de la complejidad, Profesor del Programa de Especialización en Estadística, Universidad Surcolombiana y jurado del trabajo de grado, por toda su colaboración y sus aportes académicos.

JAIRO ANDRÉS GARZON HERNANDEZ, Ingeniero Electrónico, Coordinador del grupo de Instrumentos y Metalmeccánica- IDEAM por todos sus aportes y apoyo permanente.

OFELIA ANGEL OVIEDO, MSc en Ecosistemas Estratégicos, Coordinadora del Área Operativa 04 Neiva –IDEAM, por todo su apoyo y colaboración.

Y a todas aquellas personas que, de una u otra manera, mediante su ayuda y colaboración hicieron posible que este proyecto se pudiera realizar.

Tabla de contenido

Resumen	13
Abstract.....	15
1. Introducción	17
1.1 Planteamiento del problema y pregunta de investigación.....	17
2. Revisión de literatura	21
2.1 El clima en la tierra.....	21
2.2 Servicios climáticos.....	24
2.3 Estaciones meteorológicas	25
2.4 Control de calidad	27
3.Objetivos.....	30
3.1 General	30
3.2 Específicos.....	30
4.Justificación	31
5. Hipótesis y variables	33
5.1 Hipótesis	33
5.2 Variables.....	33
6. Definición de términos centrales	34
7.Alcances y Limitaciones	38
8.Diseño Metodológico.....	39
8.1 Enfoque de investigación	39
8.2 Diseño estadístico.....	39
8.3 Área de estudio:.....	39
8.4 Fases, etapas y métodos	46
9. Resultados y discusión	56

9.1 Análisis de las variables meteorológicas	56
9.1.1 Series de precipitación	56
9.1.2 Series de temperatura.....	62
9.2 Correlación de series de temperatura y precipitación automática vs convencional.....	78
9.3 Validación serie de precipitación y temperatura de la estación automática Marengo.	104
10. Conclusiones y recomendaciones.....	107
11.0 Referencias bibliográficas	109
11.1 Webgrafía	114
12 Apéndices / Anexos	116

Lista de tablas

Tabla 1 Instrumental estación meteorológica automática Marengo	42
Tabla 2 Instrumental estación Convencional Sevilla	44
Tabla 3 Límites superior e inferior sensores temperatura y precipitación	54
Tabla 4 Datos normal climatológica Sevilla 1981-2010.....	54
Tabla 5 Estadística descriptiva precipitación convencional vs automática 2018 al 2021.....	59
Tabla 6 Estadística descriptiva precipitación convencional vs automática 2018 al 2021.....	64
Tabla 7 Temperatura mínima media mensual estación convencional vs automática año 2018	66
Tabla 8 Temperatura mínima media mensual estación convencional vs automática año 2019	66
Tabla 9 Temperatura mínima media mensual estación convencional vs automática año 2021	68
Tabla 10 Temperatura máxima media mensual de la estación convencional Sevilla vs la estación Automática Marengo del año 2018	71
Tabla 11 Temperatura máxima media mensual de la estación convencional Sevilla vs la estación Automática Marengo del año 2019	72
Tabla 12 Temperatura máxima media mensual de la estación convencional Sevilla vs la estación Automática Marengo del año 2020	73
Tabla 13 Temperatura máxima media mensual de la estación convencional Sevilla vs la estación Automática Marengo del año 2021	75
Tabla 14 Prueba de normalidad Lilliefors variable de temperatura convencional vs automática	80

Tabla 15 Prueba de rangos Wilcoxon para la estación convencional vs automática de los años 2018 al 2021	81
Tabla 16 Comparación distribución Kolmogorow- Smirnow para la estación convencional vs automática de los años 2018 al 2021	82
Tabla 17 Correlación de Spearman para la estación convencional vs automática de los años 2018 al 2021	83
Tabla 18 Coeficientes de Inconsistencia y consistencia resultantes de la comparación de lluvia diaria entre la EMC Sevilla y la EMA Marengo	85
Tabla 19 Prueba de rangos Wilcoxon para la estación convencional vs automática en temperaturas max, min y tsecos año 2018	88
Tabla 20 Prueba de rangos Wilcoxon para la estación convencional vs automática en temperaturas max, min y tsecos año 2019	89
Tabla 21 Prueba de rangos Wilcoxon para la estación convencional vs automática en temperaturas Max, min y tsecos año 2020	90
Tabla 22 Prueba de rangos Wilcoxon para la estación convencional vs automática en temperaturas Max, min y tsecos año 2021	90
Tabla 23 Comparación distribución Kolmogorow- Smirnow para la estación convencional vs automática del año 2018	92
Tabla 24 Comparación distribución Kolmogorow- Smirnow para la estación convencional vs automática del año 2019	93
Tabla 25 Comparación distribución Kolmogorow- Smirnow para la estación convencional vs automática del año 2020	94
Tabla 26 Comparación distribución Kolmogorow- Smirnow para la estación convencional vs automática del año 2021	94

Tabla 27 Correlación de Spearman variable temperatura mínima estación convencional vs automática de los años 2018 al 2021	95
Tabla 28 Correlación de Spearman variable temperatura máxima estación convencional vs automática de los años 2018 al 2021	96
Tabla 29 Correlación de Spearman variable temperatura horaria 7:00, 13:00 y 19:00 estación convencional vs automática de los años 2018 al 2021	97
Tabla 30 Coeficientes de Inconsistencia y consistencia resultantes de la comparación de temperatura máxima y mínima diaria entre la EMC Sevilla y la EMA Marengo	99
Tabla 31 Coeficientes de Inconsistencia y consistencia resultantes de la comparación de temperatura máxima y mínima diaria entre la EMC Sevilla y la EMA Marengo	102
Tabla 32 Datos diez minútales que sobrepasan el rango del sensor Mac Van Instrument de precipitación estación Marengo año 2019 y 2021	104

Lista de figuras

Figura 1 Pluviómetro tradicional _____	35
Figura 2 Pluviógrafo tradicional _____	36
Figura 3 Pluviómetro digital tipo balancín _____	37
Figura 4 Ubicación del área de estudio _____	40
Figura 5 Estación meteorológica automática Marengo _____	41
Figura 6. Diferencias de precipitación diaria Marengo y Sevilla desde 2018 a 2021 _____	57
Figura 7. Precipitación mensual registrada en Marengo y Sevilla año 2018 _____	58
Figura 8 Precipitación mensual registrada en la EMA Marengo y EMC Sevilla año 2019 _____	60
Figura 9 Precipitación mensual registrada en la EMA Marengo y EMC Sevilla año 2020 _____	61
Figura 10 Diferencias de precipitación diaria registrada en Marengo y Sevilla año 2021 _____	62
Figura 11 Diferencias temperatura mínima de la estación convencional Sevilla vs Estación automática Marengo de los años 2018 a 2021 _____	63
Figura 12 Diferencias entre la temperatura mínima diaria estación convencional vs automática año 2018 _____	64
Figura 13 Diferencias entre la temperatura mínima diaria estación convencional vs automática año 2019 _____	65
Figura 14 Diferencias entre la temperatura mínima diaria estación convencional vs automática año 2020 _____	67
Figura 15 Diferencias entre la temperatura mínima diaria estación convencional vs automática año 2021 _____	68
Figura 16 Diferencias temperatura máxima de la estación convencional Sevilla vs Estación automática Marengo de los años 2018 a 2021 _____	69
Figura 17 Diferencias temperatura máxima de la estación convencional Sevilla vs Estación automática Marengo año 2018 _____	70

Figura 18 Diferencias temperatura máxima de la estación convencional Sevilla vs Estación automática Marengo año 2020 _____	72
Figura 19. Diferencias temperatura máxima de la estación convencional Sevilla vs Estación automática Marengo año 2020_____	73
Figura 20 Diferencias temperatura máxima de la estación convencional Sevilla vs Estación automática Marengo año 2020 _____	74
Figura 21 Diferencias temperatura seca 7:00 horas de la estación convencional Sevilla vs Estación automática Marengo año 2018 al 2021 _____	76
Figura 22 Diferencias temperatura seca 13:00 horas de la estación convencional Sevilla vs Estación automática Marengo año 2018 al 2021 _____	77
Figura 23 Diferencias temperatura seca 19:00 horas de la estación convencional Sevilla vs Estación automática Marengo año 2018 al 2021. _____	78
Figura 24 Grafico QQnorm precipitación convencional y automática _____	79
Figura 25 Diagrama de dispersión datos de precipitación convencional vs automática años 2018 al 2021 _____	84
Figura 26 Caja Box-plot temperaturas horarias estación automática de Marengo _____	106

Resumen

Diariamente son recopilados una gran cantidad de datos con información meteorológica sobre temperaturas, precipitación, humedad relativa, brillo solar y elementos climatológicos en general, por medio de instrumentos que han evolucionado a través del tiempo. Actualmente, esta información es registrada por medio de satélites, estaciones meteorológicas convencionales, automáticas, radiosondeos, entre otros, para ser analizados por personal calificado con el fin de determinar la climatología de un lugar determinado.

En Colombia la entidad encargada de suministrar esta información de manera oficial es el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM; quien desde hace más de 30 años ha instalado estaciones meteorológicas, las cuales están conformadas por un conjunto de instrumentos o sensores destinados a realizar mediciones y observaciones puntuales de parámetros tales como: temperatura, humedad relativa, precipitación, recorrido del viento, dirección y velocidad del viento, brillo solar, entre otros. Estas estaciones en su mayoría son convencionales con instrumental mecánico y asistida por observadores voluntarios capacitados para la toma de datos; con el avance tecnológico de los últimos años ha permitido la implementación de estaciones automáticas con sensores digitales que pueden operar sin personal presente durante largos periodos de tiempo y estar ubicadas en lugares de difícil acceso. La información meteorológica recolectada debe ser procesada y analizada con el fin de entregar información confiable y oportuna para lo cual se deben establecer metodologías y procedimientos dirigidos al control de calidad de la información.

El objetivo del presente trabajo fue realizar la comparación de los datos meteorológicos medidos por una estación convencional contra los mismos obtenidos por una automática, ambas estaciones están ubicadas en el municipio de Pitalito del departamento del Huila, estos datos fueron: temperatura máxima, temperatura mínima, temperatura bulbo seco (7:00, 13:00 y 19:00) y precipitación colectados de manera diaria y analizados de forma estadística,

procesando de forma descriptiva con la media, mediana medidas de dispersión, varianza, desviación estándar; asimismo, se comparó las variables utilizando la correlación para datos no normales de Spearman, Kolmogorov, el índice de consistencia e inconsistencia durante el periodo comprendido de enero de 2018 a diciembre de 2021. Se encontró, que para las variables temperatura máxima y temperatura mínima, se pueden usar indistintamente los datos de la estación meteorológica automática ya que los datos son semejantes y se pueden unificar en una sola serie histórica con el fin de tomar los datos directamente de la estación automática y retirar el componente mecánico de la estación convencional.

Palabras clave: Ema, Climatología, verificación, sensores, datos crudos, temperatura y precipitación.

Abstract

A large amount of data is collected daily with meteorological information on temperatures, precipitation, relative humidity, solar brightness and weather elements in general, through instruments that have evolved over time. Currently, this information is recorded by means of satellites, conventional and automatic weather stations, radio soundings, among others, to be analyzed by qualified personnel in order to determine the climatology of a given place.

Officially, the entity in charge of supplying this information in Colombia is the Institute of Hydrology, Meteorology and Environmental Studies –IDEAM; which for more than 30 years has installed meteorological stations, which are made up of a set of instruments or sensors intended to make specific measurements and observations of parameters such as: temperature, relative humidity, precipitation, wind path, direction and speed of the wind, sunlight, among others.

These stations are mostly conventional with mechanical instruments and assisted by volunteer observers trained for data collection; with the technological progress of recent years, it has allowed the implementation of automatic stations with digital sensors that can operate without personnel present for long periods of time and be located in places of difficult access

The meteorological information collected must be processed and analyzed in order to deliver reliable and timely information, for which methodologies and procedures aimed at controlling the quality of the information must be established.

The objective of this work was to compare the meteorological data measured by a conventional station against data obtained by an automatic one, both stations are located in the municipality of Pitalito in the department of Huila, these data were: maximum temperature, minimum temperature, dry bulb temperature (7:00, 13:00 and 19:00) and precipitation collected daily and analyzed statistically, processing descriptively with the mean, median measures of dispersion, variance, standard deviation, likewise, the variables were compared using the

Spearman, Kolmogorov correlation for non-normal data, the consistency and inconsistency index during the period from January 2018 to December 2021.

It was found that for the maximum temperature and minimum temperature variables, the data from the automatic weather station can be used interchangeably since the data are similar and can be unified into a single historical series in order to take the data directly from the automatic station and remove the mechanical component from the conventional station.

Keywords: AWS, climatology verification, sensors, raw data, temperature and precipitation.

1. Introducción

1.1 Planteamiento del problema y pregunta de investigación

Desde la antigüedad se han registrado los cambios observados en el clima, desde los antiguos egipcios que asociaban las crecidas del río Nilo con los movimientos de las estrellas, el tratado de Aristóteles con observaciones sobre el origen de los fenómenos atmosféricos; con la creación de instrumentos como el termómetro en 1607, el barómetro en 1643, el anemómetro en 1667, el higrómetro a cabello en 1780, entre otros, dio inicio a registros más precisos de variables como la temperatura, humedad, recorrido del viento (Meteored, 2022). Asimismo, con los avances tecnológicos el entendimiento de las dinámicas de la atmósfera aumentó, logrando la creación de la previsión del tiempo calculada con bases matemáticas (AEMET, 2022). Después de la segunda guerra mundial, con el desarrollo de las computadoras surgieron nuevos avances en la meteorología, en 1957 con el Sputnik I se logró obtener una visión global del tiempo desde el espacio; en 1960, Estados Unidos lanzó el primer satélite meteorológico TIROS-1 que significó el inicio de una era de difusión global de las informaciones climáticas (BBC, 2022).

Desde 1950 la generación de la información meteorológica en el planeta se rige bajo las normas de la Organización Meteorológica Mundial -OMM, quien es el portavoz sobre el estado y comportamiento de la atmósfera de la Tierra (OMM, 2022). En la actualidad, a nivel mundial se cuenta con más de 10.000 estaciones meteorológicas de superficie automáticas o dotadas de personal, equipadas para medir a diario parámetros como temperatura, humedad, precipitación, radiación solar, velocidad y dirección del viento, entre otros, que permiten el intercambio libre de información, generación de productos y servicios que se utilizan en la vida diaria que va desde planificar un evento al aire libre, la siembra de diversos cultivos y la aviación (omm, 2022).

El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM, como entidad encargada de suministrar esta información de manera oficial en Colombia, posee una red de estaciones hidrometeorológicas convencionales y automáticas que generan información de las diferentes variables climatológicas y ambientales tales como: niveles de los ríos, caudal, temperatura, humedad relativa, precipitación, dirección y velocidad del viento, radiación, brillo solar y demás. Esta información es insumo para la toma de decisiones y responden a un gran número de necesidades para las aplicaciones e investigaciones sobre el clima con una visión nacional en sectores como la agricultura, el sistema nacional para la atención y prevención de desastres, políticas ambientales, entre otras (IDEAM,2016).

En Colombia en los últimos años ha surgido la necesidad de disponer de datos meteorológicos fiables y en tiempo real, de la mano de la evolución Tic nuevas tecnologías y del acceso a zonas recónditas, suplementando la red existente con estaciones meteorológicas automáticas para incrementar el número de observaciones y mejorar confiabilidad de las mediciones; asimismo, de satisfacer la necesidad creciente de información en tiempo real y de alta frecuencia.

De acuerdo a la Coordinadora del Área Operativa 04, en el departamento del Huila existen un total de ciento ocho estaciones meteorológicas operadas por el IDEAM de las cuales 10 son estaciones automáticas climatológicas (O, Ángel, comunicación personal, 01 de agosto 2022). Otras entidades como la Corporación del Alto Magdalena CAM, Fedearroz, Fedecacao, la Universidad Surcolombiana, el SENA, Cenicafe han incursionado en esta tecnología y han adquirido estaciones meteorológicas automáticas para realizar monitoreos y así asistir operaciones agrícolas, investigación, gestión del riesgo y la toma de decisiones de ordenación del territorio en el departamento. Cenicafe actualmente monitorea el clima de la zona cafetera mediante una red meteorológica compuesta por 107 estaciones de las cuales en el Huila se instalaron 8 automáticas con 8 más de observación convencional (Cenicafe, *sf*), De esta forma surge la necesidad de determinar la confiabilidad, procesar y analizar los datos automáticos

estableciendo metodologías dirigidas al control de calidad de la información, teniendo en cuenta los parámetros establecidos por la Organización Meteorológica Mundial OMM.

Las estaciones meteorológicas automáticas ya son una alternativa para reemplazar las estaciones convencionales, la OMM (2017) propone como intervalo mínimo de dos años en el cual funcionen estas dos tecnologías en un mismo punto realizando observaciones en paralelo, evaluando las series de datos para que una vez se acoplen a las series históricas se logre la continuidad de los registros, sustituyendo los instrumentos manuales por los automáticos. Sin embargo, Gattinoni et al. (2011) sugieren realizar comparaciones con el uso de series de tiempo más largas, más de 3 años, verificando que tan homogéneos y sesgados se encuentran los datos para así validarlos y acoplarlos a la serie histórica.

En el IDEAM se han ido adelantando procesos para el mejoramiento de la calidad de los registros de variables meteorológicas desde el año 2014, abarcando procesos de control de calidad, homogenización y complementación de datos. Asimismo, en conjunto el IDEAM y la Corporación de Investigación Agropecuaria (CORPOICA) durante los años 2015 y 2016 avanzaron en mejorar la calidad de las series diarias de precipitación y temperatura (media, mínima y máxima), así como de establecer una metodología para control de calidad, relleno de datos faltantes y homogenización de datos (Téllez, 2020). Sin embargo, poco se ha trabajado en la comparación de series automáticas vs convencionales a pesar que en el instituto existen varias que se encuentran emplazadas en el mismo punto, como es el caso del departamento del Huila, por esta razón y en virtud al aumento creciente del uso de estaciones meteorológicas automáticas se propuso este trabajo con el fin de comparar la calidad de la información obtenida por una EMC y una EMA, a través de la estimación de distintos parámetros de posición, dispersión de datos y confiabilidad.

De conformidad con lo expresado en los párrafos anteriores, se consideró apropiado realizar una investigación al siguiente interrogante:

¿Qué tan confiables son los datos de una estación meteorológica automática comparada con una estación meteorológica convencional emplazada en el mismo punto?

2. Revisión de literatura

2.1 El clima en la tierra

El clima ha variado a lo largo de la historia de la tierra; existe evidencia de mayores y menores eras glaciares en los pasados mil millones de años, como también de períodos más cálidos. Algunos cambios han sido a escala global y otros han afectado solamente a una parte del planeta (Gómez, C., & colaboradores, 2011).

El sistema climático global está formado por cinco elementos como la atmosfera, la hidrosfera, la criosfera, la litosfera y la biosfera que interactúan con los factores forzantes como la radiación solar y los gases efecto invernadero provocando fuertes cambios en grandes áreas de la tierra, los cuales varían tanto de forma natural como por la actividad antrópica, produciendo alteraciones en el clima del planeta, afectando con sequías severas en zonas húmedas o inundaciones ocasionales en zonas secas. Los factores determinantes como la latitud, la elevación, distancia al mar, las corrientes marinas, la cobertura vegetal, los glaciares, los grandes lagos, los ríos y la actividad humana, son un conjunto de circunstancias que determinan los diferentes tipos de clima, al influir con la transferencia de energía y calor (Benavides y León. 2007).

La tierra es un sistema dinámico en el cual todo está conectado, los cambios en una zona pueden influir en las demás y desencadenar cambios que incluyen sequias, escases de agua, inundaciones, incendios, aumento del nivel del mar, disminución de la biodiversidad, entre otros, que pueden ser producidos por dos factores internos o externos. Los factores externos son aquellos que actúan fuera del sistema climático y se consideran a las variaciones orbitales y solares; dentro de los factores internos se tienen la orogenia, la actividad volcánica, la circulación oceánica y los cambios en la composición atmosférica, donde la influencia humana ha contribuido en gran forma al desequilibrio (Gómez, C., & colaboradores, 2011). La creciente industrialización, el desarrollo económico y el crecimiento demográfico es uno de los

mayores retos de la modernidad, son considerados como las principales causas del calentamiento atmosférico; sin embargo, este concepto es mucho más amplio e incluye las variaciones climáticas que se han presentado en el planeta a lo largo de la historia (Uribe, E. 2015).

Para ello es importante tener claro dos conceptos fundamentales en meteorología, diferenciar entre clima y variabilidad climática. El clima es una expresión estadística a largo plazo y se determina a partir de un cálculo de las condiciones de un periodo de 30 años, que puede variar en diferentes direcciones y escalas de tiempo, mientras que la variabilidad climática se refiere a las fluctuaciones observadas en el clima alrededor de una condición promedio durante periodos cortos (Montealegre, 2009). La variabilidad del clima es estacional mientras que el clima fluctúa todo el tiempo durante las estaciones y a lo largo de los años, cuyas causas naturales citan los ciclos y tendencias en la órbita de la Tierra, la radiación solar, la composición química de la atmósfera, la circulación oceánica y su interacción con la atmósfera y la biosfera (OMM, 2017).

El clima de la tierra está cambiando rápidamente, se estima que para el periodo de 1850-1900 la temperatura en promedio aumento aproximadamente 1 °C, mientras que la precipitación desde 1970 ha aumentado principalmente en latitudes superiores a 30° grados (IPCC, 2019). El cambio climático es uno de los principales factores que incrementa la pérdida de biodiversidad ya que los cambios en los patrones de precipitación y el incremento de la temperatura tiene un efecto en la fisiología, comportamiento e interacción de las especies, aunque históricamente las especies se han adaptado a los cambios en el clima el ritmo que está sucediendo actualmente supera la capacidad de respuesta de la mayoría de las especies afectando el funcionamiento y distribución de los ecosistemas (Botero, U. 2015).

La Convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático (1992), define el cambio climático como “un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmosfera mundial y que se suma a la variabilidad

natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables”. Es el principal reto del último siglo, requiere del trabajo coordinado entre países ya que el clima del planeta está cambiando a un ritmo acelerado debido a las actividades ligadas a la producción, extracción, asentamiento y consumo, provocando cambios en los ecosistemas, derretimiento de las masas glaciares, los nevados, mayor ocurrencia y fuerza en lluvias, sequías, huracanes, entre otros (IDEAM, 2022). La Organización Meteorológica Mundial OMM (2022) afirma que hay un 50% de probabilidades de que en los próximos cinco (5) años (2022-2026) la temperatura media anual supere el 1,5°C los niveles preindustriales, que agravara los riesgos relacionados con el clima a los que están actualmente expuestos los sistemas naturales y humanos.

En Colombia en la última investigación realizada por el IDEAM se estimó que para la década de 1971-2000 la temperatura media del país aumento 0.13°C, mientras que los modelos de escenarios de cambio climático proyectan que la temperatura promedio en el país aumentará 1,4°C para el 2011-2140, 2.4°C para 2041-2070; además, que a lo largo del siglo XXI la precipitación se reduciría entre un 15% y 36% en las zonas de la región Andina y Caribe, mientras que en el centro y la región pacifica existiría un incremento en la precipitación (IDEAM & Colaboradores, 2017).

Los escenarios de cambio climático indica que Colombia en su conjunto estaría afectado por el cambio climático pero el comportamiento de las temperaturas y precipitaciones no será el mismo para todas las regiones del país; se espera que en las regiones donde se prevé un aumento progresivo de la temperatura y disminuciones de la precipitación pueden afectarse severamente en los años donde se presente el fenómeno del Niño (IDEAM & Colaboradores, 2017). En la tercera comunicación de cambio climático del IDEAM (2017), se prevé que para el año 2041-2070 el departamento del Huila tendrá un aumento de temperatura de 1.7°C, para el periodo de 2071-2100 las precipitaciones disminuirían entre 10 % y 30%.

2.2 Servicios climáticos

Tantos han sido los cambios en el planeta en términos de clima que se han formado organizaciones con el fin de facilitar la cooperación a escala mundial en términos de meteorología, hidrología y ciencias geofísicas a fines, como es el caso de la Organización Meteorológica Mundial OMM creada en 1873 (OMM, s.f). La meteorología es una de las actividades con más larga historia de cooperación científica internacional organizada con fines sociales y hoy en día la OMM es quien da las directrices en todo lo relacionado con el registro, proceso y almacenamiento de los datos sinópticos, climatológicos de los proveedores de servicios meteorológicos de los 189 países miembros de la organización (Elizondo, 2017).

Diariamente son recopilados una gran cantidad de datos con información meteorológica sobre temperaturas, precipitación y elementos climatológicos en general por medio de satélites, estaciones meteorológicas convencionales, automáticas, radiosondeos, entre otros, para ser analizados por personal calificado con el fin de determinar la climatología de un lugar determinado y de realizar pronósticos con el fin de predecir las condiciones futuras. El tiempo y clima son dos términos utilizados en el día a día de muchas personas sin notarlo directamente. Ingenieros, pilotos, agricultores, ganaderos, médicos, funcionarios públicos, entre otros, tienen en común la necesidad constante de acceder a esta información para realizar sus actividades con éxito, desde tomar un avión, planificar un evento al aire libre o la fecha adecuada para sembrar un cultivo (Torres, 2019). La atmósfera no suele ser constante, por ello la escala de tiempo suele diferenciar estos términos; se entiende por tiempo al estado de la atmósfera en un momento y lugar determinado, que viene dado por fenómenos como temperatura, precipitación, humedad, viento, nubosidad, entre otros, mientras que clima es el conjunto de estos fenómenos que caracterizan un lugar o una región por largos periodos de tiempo (CIIFEN.s. f).

La OMM (2011), afirma que “el clima de una región afecta la vida cotidiana, las actividades económicas y las condiciones sociales y culturales”, es de gran interés para las personas, los datos climáticos y los conocimientos ya sean tradicionales o científicos tienen

múltiples aplicaciones como diseño de un sistema de riego, la orientación de la construcción de viviendas, prevención de brotes de enfermedades, fecha de siembra de cultivos, entre otros (OMM, 2021). De esta manera, los servicios climáticos son de gran importancia en gran medida para los sectores productivos de un país, donde permiten identificar y priorizar las necesidades para la agricultura, seguridad alimentaria, agua, salud y gestión del riesgo (IDEAM, 2021).

La Organización de las Naciones Unidas (ONU) menciona que este tipo de servicios es importante y concierne a toda la población debido a que “es un proceso que proporciona información y productos sobre clima y que conlleva a predicciones de evolución probable estacional de lluvia o sequías” (CODS,sf).

Actualmente, cada país cuenta con una agencia o instituto capaz de producir y procesar la información meteorológica e hidrológica de las regiones para generar información confiable y oportuna para el desarrollo de actividades productivas de la agricultura, ganadería, aeronáuticas, entre otros. Para el caso de América existe el Centro Regional del Clima para el Sur de América del sur, donde provee servicios para Argentina, Brasil, Paraguay, Uruguay, Bolivia y Chile. En Colombia, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, mientras que en España trabaja la Agencia Estatal de Meteorología AEMET.

Los servicios climáticos demandados actualmente consisten en datos, resúmenes y predicciones estadísticas, adaptados a funciones científicas y de asesorías expertas (SIAC,sf). Para generar esta información es necesario establecer redes de monitoreo que operan en distintas regiones y puede ser de tipo convencional y automático, los cuales deben tener en cuenta los criterios propuestos por la OMM, de acuerdo a las condiciones fisiográficas, climáticas, etc de la región (OMM, 2011).

2.3 Estaciones meteorológicas

La Organización meteorológica mundial (1990) define como estación meteorológica al conjunto de instrumentos que permiten medir y registrar diferentes variables meteorológicas

que describen el comportamiento de la atmosfera y el medio ambiente. Los tipos de estaciones meteorológicas dependen del propósito que se tengan y pueden clasificarse dependiendo de las variables monitoreadas ya sean climatológicas, sinópticas o marinas. Asimismo, deben cumplir ciertas especificaciones para su emplazamiento, equipos e instrumental adecuado para cada tipo de variable, formación del personal necesarias para las mediciones in situ ya sea por medio de un observador por el contrario si su componente automático (López, 2016).

Las estaciones meteorológicas automáticas (EMA) están transformando la manera tradicional de medir las variables meteorológicas, ya que se pueden ubicar en lugares de difícil acceso, obteniendo información en tiempo real y pueden operar sin personal presente por un largo periodo de tiempo. La OMM las define como “aquella estación meteorológica en la que se realizan y se transmiten observaciones automáticamente. Están dotadas de un conjunto de sensores conectados a un sistema de interrogación y a su vez conectado a un catálogo encargado de leer las señales, en el cual se adquieren, procesan y almacenan los datos medidos; es capaz de transmitir los datos a cortas, medianas y largas distancias (SMN. 2021). Son útiles para complementar la red básica de observaciones manuales, sin embargo, aun cuando la tecnología ha avanzado en gran medida existe una resistencia al cambio principalmente en las personas que durante años han desarrollado una rutina en el manejo de estaciones convencionales sobretodo en cuanto a que el cambio tecnológico puede afectar los registros de datos y la comparación entre los sistemas tradicionales y los actuales (Elizondo, 2017).

Los datos generados por las EMA no son idénticos a los que se obtiene por medio de un observador voluntario que realiza mediciones, ya que hay una serie de elementos que hacen diferente la información como la diversidad de factores fisiológicos, habituación de objetos y emplazamiento, en la noche la adaptación de los ojos a las condiciones del entorno, la sensibilidad del sensor, la frecuencia del muestreo, el tiempo de respuesta y la forma de procesar el dato es diferente (Weidner & Keller, 2000, como se citó en Elizondo, 2017). Sin

embargo, proveen una serie de ventajas ya que contribuyen a la normalización de la información meteorológica, al eliminar algunas desventajas con el sistema tradicional como la subjetividad del observador y los errores de digitación (Elizondo, 2017).

2.4 Control de calidad

La OMM (2017) establece que el control de calidad de los datos de una EMA debe efectuarse en tiempo casi real, definido en un control de calidad básico eliminando errores de los sensores y de medición; además, sobre los datos procesados, revisar la compatibilidad temporal e interna de los datos, evaluación de desviaciones y variaciones a largo plazo de los sensores y módulos. Por esta razón, es vital contar con un sistema de control de calidad bien diseñado para corregir todos los datos erróneos y validar los datos sospechosos detectados por los procedimientos de control de calidad.

La calidad debe conocerse en cualquier punto del proceso, Estévez y Gavilán (2006) afirman que el proceso de validación de datos engloba un conjunto de técnicas, procedimientos, algoritmos y test que sirven para identificar y detectar errores para luego dar un distintivo de calidad. Mencionan, además, que de acuerdo al parámetro ya sea temperatura, precipitación, humedad, radiación solar, entre otros, es muy particular y tiene una variabilidad espacial y temporal distinta, lo que a la hora de establecer mecanismos que determinen el dato medido su comportamiento será diferente.

Colloti, Blanco y Rodríguez (2003) aplicaron el coeficiente de inconsistencia y el de consistencia comparando datos de un equipo automático con precisión de 0.01 pulgadas y convencional con un pluviógrafo de sifón marca Fuess con precisión de 0.1 mm, en una serie de precipitación diaria, encontrando buenos resultados en la aplicación ya que la sencillez de las fórmulas puede inducir a un uso más amplio no solo para precipitación sino para otras variables meteorológicas.

En Argentina Gattinoni, y colaboradores. (2011), compararon la calidad de los datos provenientes de una estación convencional y dos automáticas a partir de la estimación de distintos parámetros estadísticos analizando los datos de temperatura del aire y precipitación durante el año 2007 a escala diaria y mensual. A partir de análisis estadísticos descriptivos identificaron similitudes en las series de precipitación, mientras que los valores acumulados anuales y extremos fueron los que más diferencias encontraron, dichas diferencias asociadas al instrumental utilizado y el entorno de cada estación. Con el coeficiente de consistencia e inconsistencia en las series de temperatura diaria y mensual obtuvieron un comportamiento similar en las observaciones.

En México, Arteaga, y colaboradores (2017) compararon datos meteorológicos medidos por una estación convencional contra los mismos datos obtenidos por una automática, los datos que se compararon fue la temperatura máxima, mínima, humedad relativa máxima y mínima, los cuales fueron colectados de manera diaria. Estos datos fueron analizados de forma gráfica y estadística por medio del coeficiente de inconsistencia y consistencia, la raíz cuadrada del cuadrado medio del error y normalizado, el índice de concordancia o Willmott, el coeficiente de determinación, un análisis de regresión, error sistemático y error aleatorio, para el periodo comprendido de enero 2004 a junio, 2013. En el estudio como resultado obtuvieron que la temperatura máxima medida, fue la variable donde los datos son más semejantes entre ambas estaciones.

En Colombia el análisis de datos meteorológicos ha sido tendencia en cuanto a completar las series de información como Urrutia, Palomino y Salazar y colaboradores (2010) en su artículo presentan una metodología que se debe seguir para la imputación de datos en series de precipitación y/o temperatura. El procedimiento consiste en hacer uso de correlaciones parciales, modelos de regresión, ajustes de los datos por medio del método de doble masa y verificación de la tendencia a través del test de Kendal. Evaluaron que para un

faltante de datos de 20% esta metodología resulta apropiada, sin embargo, para faltantes de más de 20% se recomienda usar los modelos AMI bivariado para la imputación de los mismos.

Bernal, Nestor; et al. (2012) presentaron una propuesta metodológica para la homogenización de series de tiempo de precipitación a nivel mensual, por medio de seis etapas: 1) estimación de datos faltantes y modelo ARIMA; 2) detección de cambios en el valor promedio de las series para cada mes del año; 3) identificación de estaciones vecinas; 4) curva de doble masas y proceso de homogenización; 5) Proceso de toma de decisiones. Al utilizar estos pasos como resultado obtuvieron series de tiempo de calidad para la zona de estudio en la región del Bajo Magdalena, Colombia.

Tellez, P. (2020) en un proyecto realizado para el IDEAM, propone controles de calidad para las variables de precipitación y temperatura del aire medidas en estaciones convencionales y automáticas, realizando una revisión de literatura con los métodos de control de calidad más utilizados, pruebas de validación general, de rango fijo, de rango variable, pruebas de continuidad temporal, de consistencia para las estaciones convencionales y para las automáticas con pruebas de validación general, test de rango del sensor, límites climatológicos, test de sigma, entre otros, que brinda una visión general a implementar para la validación de este tipo de series.

Los procesos de validación de información meteorológica son de gran importancia para obtener datos fiables y de calidad que servirán de insumo para contribuir en el análisis del clima de Colombia, favoreciendo al entendimiento de la variabilidad climática interanual como el Fenómeno Enos (Niño y Niña) y al cambio climático, contribuyendo al proceso de toma de decisiones en el marco de planificación no solo ambiental sino social (Bernal, Néstor. et al. 2012).

3.Objetivos

3.1 General

Evaluar la calidad de los datos generados de temperatura y precipitación en una estación climatológica automática de Marengo en relación a los datos obtenidos por la estación convencional Sevilla emplazada en el mismo punto geográfico en el municipio de Pitalito – Huila.

3.2 Específicos

- Identificar el índice de correlación entre las series de precipitación y temperatura.
- Determinar los test de validación de series automáticas de precipitación y temperatura más adecuados.
- Determinar la fiabilidad de los datos de la estación automática para las variables de precipitación y temperatura del aire.

4. Justificación

Es de importancia contar con procedimientos avalados con los lineamientos de la Organización Meteorológica Mundial OMM y que sean aplicados por los institutos de cada país. En Colombia, el IDEAM ha venido recolectando datos de variables meteorológicas con estaciones convencionales y automáticas, cuenta actualmente con 2615 estaciones distribuidas a lo largo del territorio nacional, que permite generar datos para hacer seguimiento a las condiciones atmosféricas del territorio nacional.

El IDEAM está distribuido en el país a través de 11 áreas operativas encargadas de realizar la operación y mantenimiento de estas estaciones. El área Operativa 04 es la encargada de operar las estaciones en el departamento del Huila y Caquetá. Actualmente, cuenta con un total de 10 estaciones automáticas emplazadas en el departamento del Huila, de las cuales se requiere procesar la información para ser difundida, con el fin de que se puedan contar con bases de datos más robustos y que se puedan utilizar para la toma de decisiones de políticas ambientales, sistema de prevención y atención de desastres, para la agricultura y la ciudadanía en general.

La Gobernación del Huila, la corporación autónoma del alto Magdalena CAM, Fedearroz, Emgesa, Fedecacao, Universidad Surcolombiana, Corhuila, Cenicafé, entre otras, cuentan con varios tipos de estaciones automáticas pero la mayor parte de los registros generados por éstas se quedan en repositorios digitales sin tener un análisis o validación y por consiguiente ningún uso; asimismo, los costos de instalación de una estación automática son relativamente altos y en algunos casos estos fondos provienen de recursos públicos, de ahí surge la necesidad de identificar que tan confiables son estos datos y que herramientas o procesos se deben implementar para validar este tipo de información para así darle un uso por parte de las diferentes instituciones y comunidad en general.

Por esta razón realizar un estudio con una estación meteorológica automática EMA ubicada en el departamento del Huila, comparándola con una convencional emplazada en el mismo punto geográfico, permitirá obtener un procedimiento de validación de datos que puedan utilizar otras instituciones que cuentan este tipo de estaciones y que actualmente no están realizando ningún tipo de validación ya que no existe un protocolo oficial del IDEAM que regule este tipo de información.

Conocer la fiabilidad de la información meteorológica producida por la estación Marengo ubicada en el municipio de Pitalito-Huila permitirá disminuir la resistencia que existe en el IDEAM de abandonar totalmente los componentes mecánicos y migrar a una tecnología netamente automática a la hora de tomar los datos meteorológicos.

Asimismo, esta investigación permitirá iniciar el camino para formar un banco de datos departamental que sirva para compartir la información de las diversas estaciones automáticas emplazadas en el departamento que no sean netamente de propiedad del IDEAM, sino que abarque las de la federación nacional de cafeteros, de la CAM, de EMGESA, entre otros. Que permitirá una mayor disponibilidad de información climática del departamento para usarse como base para la toma de decisiones para la agricultura, la pesca, turismo, transporte, energía, entre otros.

5. Hipótesis y variables

5.1 Hipótesis

Los datos de precipitación y temperatura obtenidos de la estación meteorológica automática de Marengo 21015050 no difieren significativamente comparados con el componente convencional de la estación Sevilla 21015020 emplazada en el mismo punto geográfico.

5.2 Variables

Las variables a analizar son los datos de precipitación y temperatura (máxima, mínima y seco) de la estación convencional Sevilla y la estación automática Marengo.

6. Definición de términos centrales

Temperatura: El glosario meteorológico del IDEAM (2019) define este término como la magnitud física que caracteriza el movimiento aleatorio media de las moléculas en un cuerpo físico. Para el caso de la meteorología, la temperatura del aire se refiere a la temperatura leída por un termómetro expuesto al aire, protegido de la radiación solar directa.

Temperatura de bulbo seco: temperatura leída en un termómetro de bulbo seco expuesto al aire y protegido de la radiación directa. El IDEAM (2019) define termómetro seco al termómetro construido por un depósito de vidrio esférico o cilíndrico que se prolonga por un tubo capilar también de vidrio cerrado en el otro extremo. Por el calor, el mercurio encerrado en el depósito pasa al tubo y hace subir la columna. En el interior del tubo de vidrio se encuentra una reglilla con graduaciones cada 0.2 grados Celsius (°C).

Temperatura máxima: Es la mayor temperatura del aire alcanzada en un intervalo de tiempo dado, puede ser diaria, mensual o anual (IDEAM, 2019). Strahler (1960) afirma que en condiciones normales las temperaturas máximas diarias se alcanzan en las primeras horas de la tarde, mientras que las máximas mensuales suelen alcanzarse durante los meses de julio o agosto en una zona templada del hemisferio norte y en el hemisferio sur para los meses de enero o febrero.

Temperatura mínima: Es la temperatura del aire más baja alcanzada en un intervalo de tiempo dado, puede ser diaria, mensual o anual (IDEAM, 2019). En condiciones normales las mínimas diarias se registran en horas del amanecer, mientras que las mensuales en el hemisferio norte se registran en los meses de enero o febrero y en el hemisferio sur en julio o agosto (Strahler, 1960).

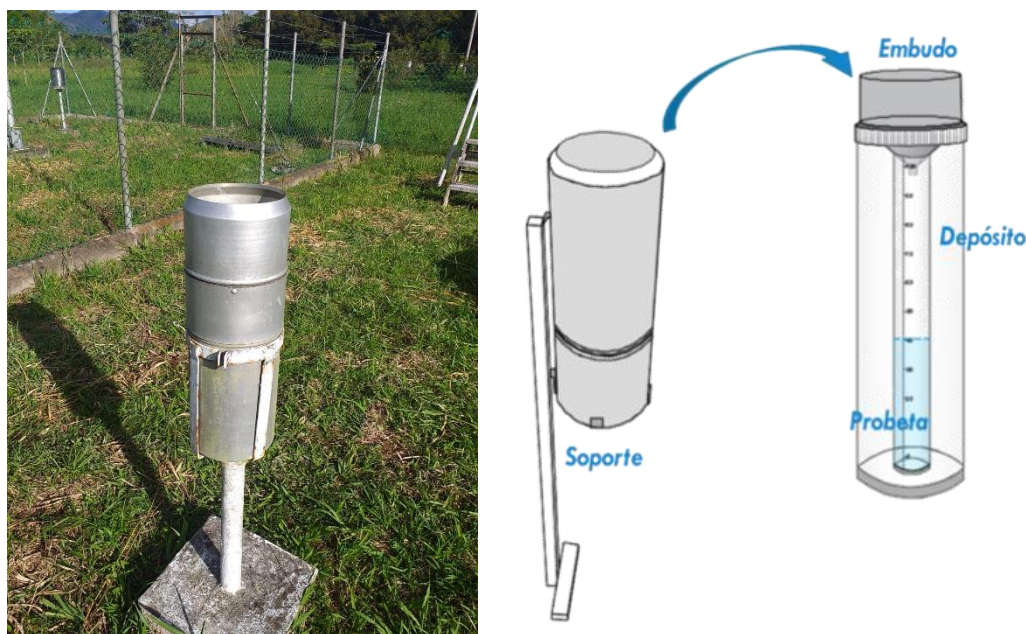
Precipitación: En el glosario meteorológico el IDEAM (2019) lo define como un hidrometeoro consistente en la caída de un conjunto de partículas; puede caer en forma líquida, sólida o líquida y sólida y estas son: lluvia, llovizna, nieve, cinarra, nieve granulada, polvo

diamante, granizo y gránulos de hielo. Las unidades de medida corresponden en milímetros (mm.), que representa la altura en milímetros que alcanzaría una capa de agua que cubriese una superficie horizontal de un metro cuadrado (Rodríguez, Benito, & Portela, 2004).

Para medir este valor en una estación meteorológica convencional se realiza a través de un pluviómetro, que es un instrumento para medir la altura del agua precipitada. Los pluviómetros tradicionales están compuestos por una sección receptora de 200 cm³, un embudo debajo de ella y un tanque de almacenamiento, tal como se observa en la figura 1.

Figura 1

Pluviómetro tradicional



Nota. Imagen y bosquejo de un pluviómetro convencional. Fuente: Ideam, estación Sevilla 2022 – Intesco (2022)

Pluviógrafo: Es un instrumento meteorológico que registra de forma mecánica y continua la precipitación en una gráfica, que permite conocer la cantidad total, duración, intensidad y periodo en que ha ocurrido la precipitación (Intesco,sf). El registro de precipitación se realiza de forma manual por un observador voluntario, el cual se realiza cada 24 horas. El

observador voluntario cambia la gráfica todos los días a las 7:00 horas cumpliendo con el día meteorológico de 7:00 a 7:00 horas del siguiente día (IDEAM, 2019). El pluviógrafo está compuesto por un embudo en la parte superior donde se recolecta la lluvia y es llevado hasta el sifón, en el cual se encuentra un flotador que al recibir la cantidad de 10 mm envía la lluvia hacia un colector y desde allí vuelve al punto inicial por medio de un brazo con una plumilla con tinta que marca las variaciones de la precipitación en una gráfica que se coloca en un tambor que gira por medio de un reloj de cuerda (figura2). El registro de la gráfica se evalúa hora hora, se verifica y se archiva (IDEAM, 2021).

Figura 2

Pluviógrafo tradicional



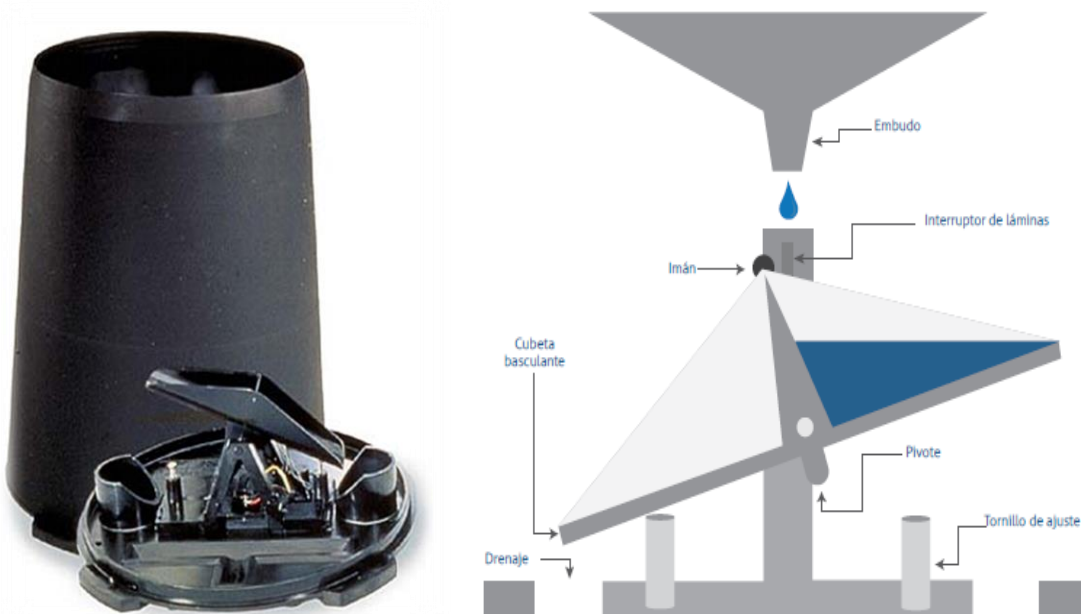
Nota. Imagen y bosquejo de un pluviógrafo convencional. Fuente: Ideam, estación Sevilla 2022 – Intesco (2022).

Pluviómetro digital: En las estaciones automáticas se utilizan los pluviómetros de tipo balancín, el cual consiste en dos recipientes pequeños, uno de ellos ubicado debajo del

embudo y un procesador que va contando las veces que cada recipiente se volcó marcando la medida de precipitación (figura 3).

Figura 3

Pluviómetro digital tipo balancín



Nota. Imagen y bosquejo de un pluviómetro digital. Fuente: Ideam 2022 - *Sarmiento et al.*, 2018

7. Alcances y Limitaciones

Alcances

- ✓ El proyecto pretende comparar los datos obtenidos de las variables de precipitación y temperatura diarias de la estación automática de Marengo y convencional de Sevilla, Identificar la correlación que tienen los datos y la confiabilidad de los mismos para determinar si es viable levantar la estación convencional y continuar con la transmisión de datos de manera automática unificando la serie histórica.
- ✓ Informar a los entes de planeación operativa del instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, al realizar un estudio de las variables principales.

Limitaciones

- ✓ El tiempo tan corto de presentación del proyecto para comparar las demás variables meteorológicas como humedad relativa, radiación solar y velocidad y dirección del viento.
- ✓ No fue posible visitar las estaciones objeto de estudio debido a su ubicación fuera de la ciudad de Neiva, la información sobre el instrumental y fotografías fue obtenida de las hojas de inspección de las comisiones realizadas por los técnicos del área operativa 04 y del grupo de automatización del Instituto.

8.Diseño Metodológico

8.1 Enfoque de investigación

El trabajo desarrollado tiene un enfoque cuantitativo ya que el proceso abarca una cuantificación numérica de las variables meteorológicas a trabajar, se implementan técnicas convenientes y adecuadas al problema investigado.

8.2 Diseño estadístico

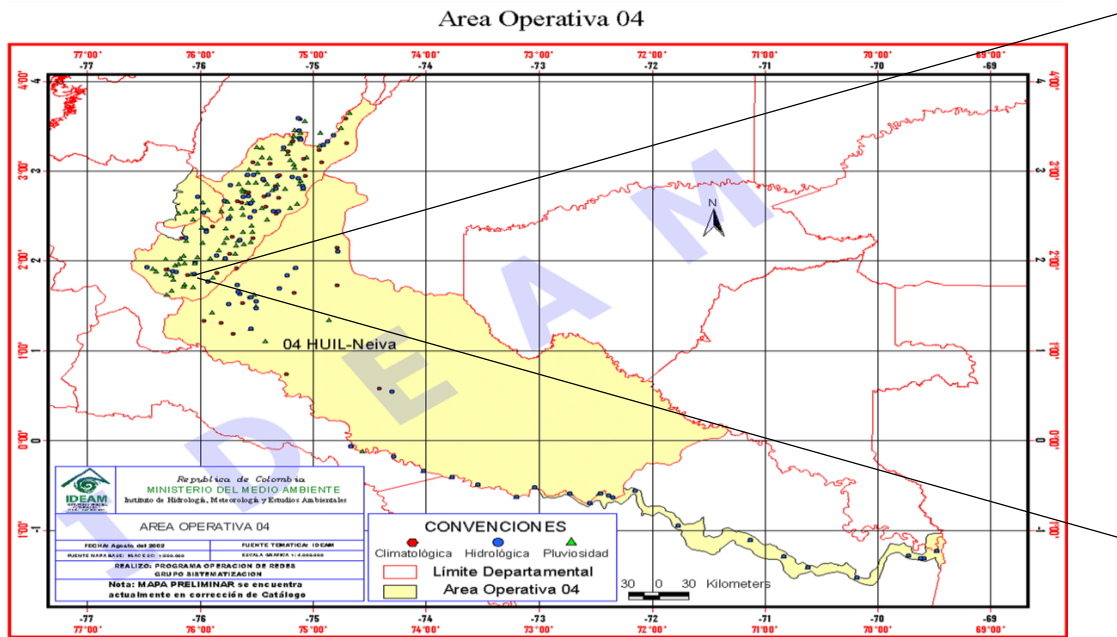
El diseño de la investigación es comparativo y correlacional, ya que compara la relación entre los datos obtenidos de temperatura (máxima, mínima y de bulbo seco) y precipitación de dos estaciones meteorológicas, una con instrumental mecánico y dotada de personal, un observador voluntario que realiza observaciones de 7:00, 13:00 y 19:00 horas siguiendo los lineamientos de la OMM y otra con componentes automáticos, con registros horarios para las temperaturas y cada 10 minutos en el caso de la variable de precipitación.

8.3 Área de estudio:

El trabajo se desarrolló con los datos generados a través de la estación automática Marengo 21015060 y la estación convencional Sevilla 21015020 emplazadas en el mismo punto geográfico en la finca Marengo ubicada en el kilómetro 4 de la vía Pitalito -San Agustín pertenecientes a la jurisdicción del área Operativa 04 Huila – Caquetá del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM (Figura 4).

Figura 4

Ubicación del área de estudio



Fuente: Área Operativa 04- IDEAM

Estación meteorológica automática Marengo: Es una estación automática de marca Siap- Micros, identificada con el código 21015060, ubicada en la Finca Marengo, del Municipio de Pitalito Huila con latitud 1.8455194, longitud -76.086483333333, una elevación de 1291 m.s.n.m, categorizada como Agroclimatológica (AM), según el Catálogo Nacional de Estaciones realiza observaciones de precipitación, temperatura del aire, temperaturas máxima y mínima a 2 metros, humedad, viento, radiación visible, radiación global, humedad del aire a 10 cm, temperatura del aire a 10 cm, temperatura y humedad del suelo a 20 cm. Fue adquirida por el IDEAM a través del crédito suizo No. 111 de 2004 e instalada el 21 de junio de 2005. Cuenta con un sistema de transmisión satelital INMARBSAT transmisión de datos para precipitación cada 10 minutos y temperatura cada hora, en la tabla 1 se muestra el instrumental, marca y modelo de los equipos que la conforman.

Figura 5

Estación meteorológica automática Marengo






Nota. Fotografía estación meteorológica y tablero de instrumentos. *Fuente:* Área Operativa 04 Huila – Caquetá IDEAM.

Tabla 1

Instrumental estación meteorológica automática Marengo

Instrumental	Marca y numero
Transmisor	 HUGHES 9502
Datalogger	SIAP-MICROS DA15KXG
Panel solar	 SIEMENS
Sensor de dirección y velocidad del viento	 VENTUS
Sensor de temperatura y humedad	 TEKBOX TBSHT031801

Continuación Tabla 1. Instrumental estación meteorológica automática Marengo

Instrumental	Marca y numero
<p>Sensor de radiación global (Pirómetro)</p> 	<p>THIES 27810</p>
<p>Sensor de temperatura del suelo</p> 	<p>THIES</p>
<p>pluviómetro</p> 	<p>MACVAN RINKO</p>

Nota. Tabla equipos e instrumental estación meteorológica. *Fuente:* Área Operativa 04 Huila – Caquetá IDEAM.

Estación meteorológica convencional Sevilla: Estación convencional identificada con el código 21015020, ubicada en la finca Marengo del Municipio de Pitalito- Huila, con latitud 1.8248333330 y longitud -76.13027778, categorizada según el Catálogo Nacional de Estaciones como climatológica ordinaria (CO), realiza observaciones de precipitación, temperatura del aire, temperaturas máxima y mínima a 2 metros, humedad, evaporación, brillo

solar y recorrido del viento. Al ser una estación convencional, cuenta con un observador voluntario que realiza las observaciones a las 7:00, 13:00 y 19:00 horas siguiendo los lineamientos de la OMM. En este tipo de estación la precipitación diaria es obtenida a partir de la acumulación de agua caída en el pluviómetro desde las 7.00 horas de un día y las 7:00 horas del día siguiente asignando el valor registrado al primer día. En la tabla 2, se muestra el instrumental, identificación y marca que componen la estación.

Tabla 2

Instrumental estación Convencional Sevilla

Instrumental	Marca y número
Termómetro Seco	Din 5866
Termómetro húmedo	Din6735
Termómetro de máxima	Termo-Schneider 7147
Termómetro de mínima	Lambrecht 28931
Pluviómetro	Franco -Hermano 28932

Continuación tabla 2. Instrumental estación convencional Sevilla

Instrumental	Marca y número	
Anemómetro	 A photograph of an anemometer mounted on a tall, white metal pole. The instrument has two large, circular cups for measuring wind speed and direction. The background shows a line of trees and a clear sky with some clouds.	Casella 28922
Pluviografo	 A photograph of a pluviograph, which is a rain gauge used for measuring precipitation. It consists of a cylindrical metal container with a lid and a funnel-shaped opening at the top. The container is mounted on a small concrete base. The background shows a grassy field and trees.	Fuess 28931
Tanque de evaporación	 A photograph of an evaporation tank, which is a large, shallow, circular metal container used for measuring evaporation. It is filled with water and has a small, circular float device in the center. The tank is placed on a concrete base in a grassy area. In the background, there are some wooden steps and a fence.	Nacional S/N

Continuación tabla 2. Instrumental estación convencional Sevilla

Instrumental		Marca y número
Heliógrafo		Casella 28930

Nota. Tabla equipos e instrumental estación meteorológica Sevilla. *Fuente:* Área Operativa 04 Huila – Caquetá IDEAM.

8.4 Fases, etapas y métodos

De acuerdo a la metodología de trabajo de Olaya (Sf), la investigación se desarrolló en fases, etapas y métodos descritas a continuación:

El estudio se desarrolló en cinco fases (Fi), a saber:

1. Fase uno, Síntesis bibliográfica y climatológica disponible sobre el área de estudio (F1).
2. Fase dos, Análisis de las variables meteorológicas (F2).
3. Fase tres, correlación de datos de temperatura y precipitación (F3).
4. Fase cuatro, Aplicación de los test de validación a la serie de precipitación y temperatura de la estación automática Marengo. (F4)
5. Fase cinco, preparación, sustentación, mejoramiento y aprobación del informe final (F5).

Las seis fases se dividieron, en conjunto en 10 etapas (Eij), de tal manera que F1 tiene una etapa, F2 dos etapas, F3 dos etapas, F4 dos etapas y F5 tres etapas, las cuales se mencionan y se describen a continuación:

Fase 1. Síntesis bibliográfica y climática de información disponible sobre el área de estudio (F1). Esta fase comprende dos etapas, a saber:

Etapa E11. Revisión de literatura, material cartográfico y climático del área de estudio. En libros, internet, profesionales en la materia, directrices de la Organización Meteorológica Mundial OMM, normal climatológica de la estación convencional, lineamientos del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, etc.

Fase 2. Análisis de las variables meteorológicas (F2). Esta fase comprende dos etapas, a saber

Etapa E21. Selección de la población, diseño muestral, instrumentos de medición y recolección de datos.

a) **Población:** El IDEAM en la jurisdicción del área operativa 04 en el departamento del Huila tiene emplazadas 10 estaciones automáticas. Para el caso de estudio se eligió una estación emplazada en el mismo punto con su componente convencional, se analizaron los datos de la estación automática Marengo y la estación convencional Sevilla. Con un periodo de datos inicial de 14 años, que fue ajustado debido a la cantidad de datos faltantes por lo que el periodo final comprende un total de 4 años desde el año 2018 al 2021.

b) **Diseño Muestral:** Series de precipitación y temperatura de la estación convencional Sevilla y la estación automática Marengo en los cuales se tomaron 6 años de información diaria.

c) **Instrumento de medición:** En la estación convencional la variable precipitación se determina con el pluviómetro tipo Hellman de marca Franco-Hermano y pluviógrafo de marca Fuess, para la variable de temperatura los termómetros de máxima, mínima, bulbo seco; en el componente automático se tienen los sensores de temperatura de marca TEKBOX

TBSHT03 y precipitación con el pluviómetro digital marca MAC VAN INSTRUMENT, el cual capturo de forma automática con un sensor con forma de balancín modelo RIMKO 8500-01.

d) **Recolección de datos:** Los datos se obtuvieron conforme al protocolo propuesto por la Organización Meteorológica Mundial OMM establece unos criterios para la medición de datos que son utilizados para las estaciones convencionales y automáticas del IDEAM así:

En la estación convencional

- ✓ Temperatura mínima: Lectura 7:00 horas.
- ✓ Temperatura máxima: Lectura 19:00 horas.
- ✓ Termómetro seco: 3 lecturas diarias 7:00, 13:00 y 19:00 horas
- ✓ Pluviómetro: Lectura diaria 7:00 horas
- ✓ Pluviografo: Registro diario 7:00 horas

En la estación automática

- ✓ Temperatura mínima: Sensor de temperatura instantánea cada 10 minutos y se reporta el valor mínimo de la hora
- ✓ Temperatura máxima: Sensor de temperatura instantánea cada 10 minutos y se reporta el valor máximo de la hora.
- ✓ Temperatura seca: Sensor de temperatura instantánea cada hora
- ✓ Precipitación: dato promedio cada 10 minutos

e) **Sistematización:** Se tabulan los datos desde 2016 al 2021 con el valor diario de las variables anteriormente mencionadas.

f) **Organización de datos:** El trabajo se realizó teniendo en cuenta las series de datos del IDEAM del sistema de información para la gestión de datos hidrológicos y meteorológicos DHIME las variables de temperatura máxima, mínima y de bulbo seco (7:00 – 13:00 y 19:00) y precipitación de la estación automática Marengo y la estación convencional Sevilla; con una escala temporal desde el 2018 al 2021. Los datos fueron obtenidos a través

del portal del IDEAM (www.ideam.gov.co), al ser datos abiertos y libres según la Ley 1712 de 2014 son puestos a disposición de cualquier ciudadano de forma libre y sin restricciones.

Etapas E22. Análisis de series de precipitación y temperatura. Se realizó el análisis descriptivo de cada una de las variables de temperatura y precipitación; calculando medidas de centralización como la media aritmética, medidas de dispersión varianza, desviación estándar.

Fase 3. Correlación de datos de temperatura y precipitación (F3). Esta fase comprende tres etapas, a saber

Etapas E31. Organización de series de temperatura (máxima, mínima y de bulbo seco) y de precipitación ajustando las fechas y las horas exactas para la comparación de las series de componente automático vs el convencional de la estación de Marengo y Sevilla respectivamente.

Etapas E32. Se corroborarán la funcionalidad de los sensores automáticos y convencionales al medir la relación estadística entre dos variables continuas por medio de Correlación de las series utilizando el coeficiente de Spearman, Kolmogorow, Wicolxon y el índice de consistencia e inconsistencia, a continuación, se detallan los métodos utilizados en esta etapa.

El termino correlación expresa el grado de asociación de dos variables, según el sentido de la de la relación de estas en términos de aumento o disminución.

El coeficiente de correlación: Estadístico que cuantifica la correlación y sus valores están comprendidos entre -1 y 1.

Coefficiente de determinación: Es el cuadrado del coeficiente de correlación.

Rho de Spearman: De acuerdo a Martínez, R y colaboradores. (2009) es una medida de asociación lineal que utiliza los rangos, numero de orden de cada grupo de sujetos y compara dichos rangos. El r de Spearman llamado también rho se calcula a partir de la siguiente ecuación (1):

$$r_s = 1 - \frac{6\sum d_i^2}{n(n^2-1)} \quad \text{Ec 1}$$

Donde:

$d_i = r_x - r_y$ es la diferencia de los rangos de X e Y.

Hipótesis nula

Ho: estima que todos los valores de la muestra (x_i) son independientes e idénticamente distribuidos.

Hipótesis alterna

Ha: Estima que los valores de la muestra aumentan o disminuyen con i (existe una tendencia).

Interpretación de la correlación: Diversos autores expresan escalas de interpretación, de las cuales para el trabajo se tomó la siguiente:

Escala:

- Perfecta $R = 1$
- Excelente $R = 0,9 \leq R < 1$
- Buena $R = 0,8 \leq R < 0,9$
- Regular $R = 0,5 \leq R < 0,8$
- Mala $R < 0,5$

Prueba de diferencias de medianas

Prueba de rangos asignados de Wilcoxon: Es una prueba no paramétrica utilizada cuando los datos no cumplen el requisito de normalidad, como es el caso de la precipitación.

Se utiliza para saber si la tendencia central de dos muestras es la misma.

La hipótesis se plantea como Ho: $\theta = 0$, donde θ es la diferencia entre las medianas de dos conjuntos. Si la hipótesis nula es cierta X y Y tienen el mismo valor central, los rangos

se distribuyen aleatoriamente entre las diferencias positivas y negativas y por tanto las sumas de rangos sean aproximadamente iguales (ecuación 2 y 3).

$$\mu t = \frac{n(n+1)}{4} \quad \sigma t^2 = \frac{n(n+1)(2n+1)}{24} \quad \text{Ec 2 y 3}$$

El estadístico de prueba es el valor z (ecuación 4):

$$\mu t = \frac{T - \mu t}{\sigma t} \quad \text{Ec 4}$$

Se distribuye según la normal estándar, el nivel de significancia para el contraste de hipótesis es $\alpha = 0,05$.

Pruebas de comparación de distribución

Estadístico Kolmogorow- Smirnow: Mide la distancia entre las distribuciones, se plantea un contraste de las hipótesis:

$$H_0: F_x = F_y$$

F_x : = Es la distribución de las observaciones

F_y = distribución de los datos estimados

El nivel de significancia para el contraste de la hipótesis $\alpha = 0,05$

El contraste se basa en la diferencia entre las frecuencias relativas acumuladas, el estadístico de prueba es:

$$D_n = \max|F_{x_n}(x) - F_{y_n}(y)| \quad \text{Ec 5}$$

Donde $F_{x_n}(x)$ es la frecuencia relativa acumulada de las observaciones y $F_{y_n}(y)$ es la frecuencia relativa acumulada de los datos estimados (IDEAM, 2018).

Cuanto mayor sea la diferencia entre la distribución empírica y la distribución teórica mayor será el valor de D_n

Coeficiente de inconsistencia y consistencia

Coeficiente de inconsistencia definido por Colotti et al. (2003) para evaluar la calidad de las mediciones simultaneas automáticas y convencionales de distintas variables meteorológicas, se expresa mediante la siguiente formula:

$$C_1 = \frac{V(X-X^*)}{V(X)+V(X^*)} \quad \text{Ec 6}$$

Donde:

V = Representa el operador estadístico de la varianza.

X = Medición convencional

X* = Medición automática

Este coeficiente varía entre 0 para muestras linealmente dependientes o perfectamente consistentes y 1 para muestras totalmente independientes.

Colotti et al. (2003) extienden el concepto de inconsistencia incorporando el de consistencia entre los datos definiéndolo como:

$$C_c = 1 - C_1 \quad \text{Ec 7}$$

Se realizarán para tal efecto comparaciones de cada mes del año de los registros provenientes de la estación convencional (EMC) y la estación automática (EMA). Para el caso de la precipitación se consideraron los datos mayores a 0 mm.

Fase 4. Aplicación de los test de validación a la serie de precipitación y temperatura de la estación automática Marengo.

Etapa 4.1 En la etapa E32 de la fase anterior se realizó con los datos automáticos sin un control básico de calidad, para ello es necesario utilizar unos test para identificar si las series de datos se encuentran dentro de los límites climatológicos aceptables para el comportamiento de la zona tal como se realizan para las series convencionales. Según la propuesta de control de calidad para las variables de temperatura y precipitación presentada al

IDEAM por Téllez, P (2020) y los test de validación de datos automáticos según la norma UNE 500540 de España mencionada por Estévez y Gavilán. (2008), definen seis niveles de validación que deben aplicarse sucesivamente, de los cuales se escogieron algunos de ellos y describen a continuación:

Validación de la estructura del registro de datos: Se comprueba la estructura del registro como el número de datos. Se revisan que los datos tengan una cantidad adecuada y se realiza la validación a los años con información más completa.

Validación de los datos según límites: Se comprueba el rango de los valores meteorológicos introducidos en la base de datos, de los cuales se definen dos tipos

- Límites rígidos: físicos e instrumentales, la norma establece unos límites de acuerdo a los tipos de sensores, por lo cual se determinará para cada variable el rango adecuado para el caso de estudio.
- Límites flexibles efemérides meteorológicas: estos límites se basan en los valores extremos de las distintas variables, se deben contar con las efemérides meteorológicas de cada mes de la estación de estudio.

Test de rango basado en el tipo de sensor: Este test examina para cada muestra de datos si su valor se encuentra en el rango de medición según el tipo de sensor. Se utiliza para las variables de temperatura y precipitación a escalas temporales horarias o minútales. Se expresa mediante la siguiente ecuación (ecuación 8):

$$lm_{ir} < V < lm_s \quad \text{Ec 8}$$

Cuando el valor no se considera dentro de los límites se considera atípico o erróneo y se descarta. De acuerdo a la marca y modelo del sensor de temperatura y precipitación de la estación de Marengo se tienen en cuenta estos rangos (Tabla 3).

Tabla 3*Limites superior e inferior sensores temperatura y precipitación*

Variable	Tipo de sensor	Modelo	Límite inferior	Límite superior	Unidades
Precipitación	MAC VAN INSTRUMENT	RIMCO 8500-01	0	7,33	mm
Temperatura	TEKBOX	TBSHT03	-39.9	84.9	°C

Fuente: Téllez, P. 2020

✓ Test de límites climatológicos: Estos límites están basados en los valores extremos que las variables de temperatura y precipitación puedan tomar en la zona donde está ubicado la estación. Para establecer estos límites se utilizan los valores promedios mensuales según la normal climatológica 1981-2010 y los valores máximos máximo y mínimos de cada mes para el año evaluado (Tabla 4).

Tabla 4*Datos normal climatológica Sevilla 1981-2010*

Estación Sevilla 21015020 Normal climatológica 1981-2010												
Variable	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Temp Media	21,0	21,1	20,8	20,7	20,5	19,9	19,4	19,5	20,1	20,5	20,6	20,8
Temp Máx	27,1	27,1	26,7	26,6	26,2	25,5	24,7	25,3	26,2	26,6	26,5	26,7
Temp Max-max	32,0	32,5	32,2	31,0	29,8	29,6	29,2	29,6	30,0	30,6	30,6	31,0
Temp Mín	15,4	15,6	15,8	16,0	15,9	15,5	14,9	14,8	14,8	15,4	15,8	15,7
Temp min-min	10,0	10,0	10,0	11,4	11,0	10,4	9,8	9,6	9,8	10,0	10,0	10,4
Precipitación media (m)	61,7	83,9	107,3	135,9	138,4	133,5	123,9	98,6	77,0	99,6	95,8	80,7
Precipitación máxima (d)	50,0	56,3	74,4	172,0	56,4	60,4	70,2	44,0	45,5	78,0	48,0	65,4

Fuente: Ideam, DHIME 2022

Validación de la coherencia temporal del dato: Se compara el cambio entre dos o más observaciones consecutivas.

Test de salto horario: Se aplica solamente a la variable de temperatura, el cual consiste en examinar si a la diferencia absoluta entre dos promedios horarios consecutivos superan un umbral determinado.

Se determina a partir de la siguiente ecuación:

$$|T_i - T_{i-1}| > \partial \quad \text{Ec 9}$$

Donde ∂ corresponde al valor del umbral de la magnitud de la diferencia entre las horas consecutivas T_i y T_{i-1} , por encima del cual tales valores serán marcados como atípicos y erróneos.

En la guía No. 488 del sistema mundial de observación de la OMM (2017) que el límite para temperatura para que sea sospechoso es de 3°C y para que sea erróneo es de 10°C.

Validación de rango variable

Se utilizó el test de caja box-plot, tanto para precipitación como temperatura el cual consiste en utilizar el método estadístico denominado Box-Plot donde se establecen un límite superior y uno inferior los valores establecidos mediante la siguiente ecuación:

$$LI_s = Q3 + 1.5 * (Q3 - Q1) \quad \text{Ec 10}$$

$$LI_i = Q1 - 1.5 * (Q3 - Q1) \quad \text{Ec 11}$$

Los valores que se encuentren fuera de estos límites se consideraran erróneos.

Inspección visual: Luego de analizar los datos con los niveles anteriores, se trata de determinar si estos valores sospechosos son admitidos como erróneos o por el contrario encontrarlos validos e incluirlos como nuevas efemérides climatológicas.

Etapas E42: con la información obtenida en la etapa anterior se utiliza nuevamente los índices aplicados en la fase tres (F3) Wilcoxon, Spearman, índice de inconsistencia e inconsistencia para verificar si la correlación de los datos aumenta o se mantiene constante.

Etapas E43: con los resultados obtenidos en las fases anteriores 1,2,3 y 4 se elaboró el documento final.

Fase 5. Preparación, sustentación, mejoramiento y aprobación del informe final (F4). Esta fase comprende tres etapas tal como se indica a continuación:

Etapas E51. Preparación y sustentación del trabajo final. Por medio de un documento escrito recopilando la información de las fases anteriores que se entregará en medio físico y

magnético, además de una exposición magistral el trabajo será sustentado ante los jurados de la especialización en Estadística de la Universidad Surcolombiana.

Etapa E52. Preparación y entrega del artículo científico. Se elaborará un artículo científico con la información obtenida en las fases anteriores y se entregará en medio magnético a la Revista de Ingeniería y Región para ser revisado.

Etapa E53. Ajustes finales del informe final. Se realizarán los ajustes pertinentes de acuerdo al director y jurados calificadores.

9. Resultados y discusión

9.1 Análisis de las variables meteorológicas

9.1.1 *Series de precipitación*

Para la precipitación se descargó la información diaria reportada por la estación convencional de Sevilla 21015020 que de acuerdo a los lineamientos de la OMM del día pluviométrico va desde las 7:00 horas del día 1 a las 7:00 del día 2, registrándose este valor para el día 1, mientras que para la estación automática de Marengo el reporte de información es cada 10 minutos, por lo cual se sumó el valor total diario de acuerdo a los lineamientos de la OMM pero al ser diez minutas se tomó de las 7:10 del día 1 a las 7:00 horas del día 2.

Se identificó en la serie automática una cantidad considerable de datos faltantes y por tanto al realizar el total mensual se evidencio una diferencia significativa en estos valores, al notar estas diferencias debido a la falta de registros de algunos días en la estación automática, se ajustaron las series de tal manera que se tomaran en la convencional los mismos días reportados por la automática para realizar el análisis descriptivo de media diaria, mensual, desviación estándar, valores máximos y mínimos que permitiera dar una visión más detallada de la información.

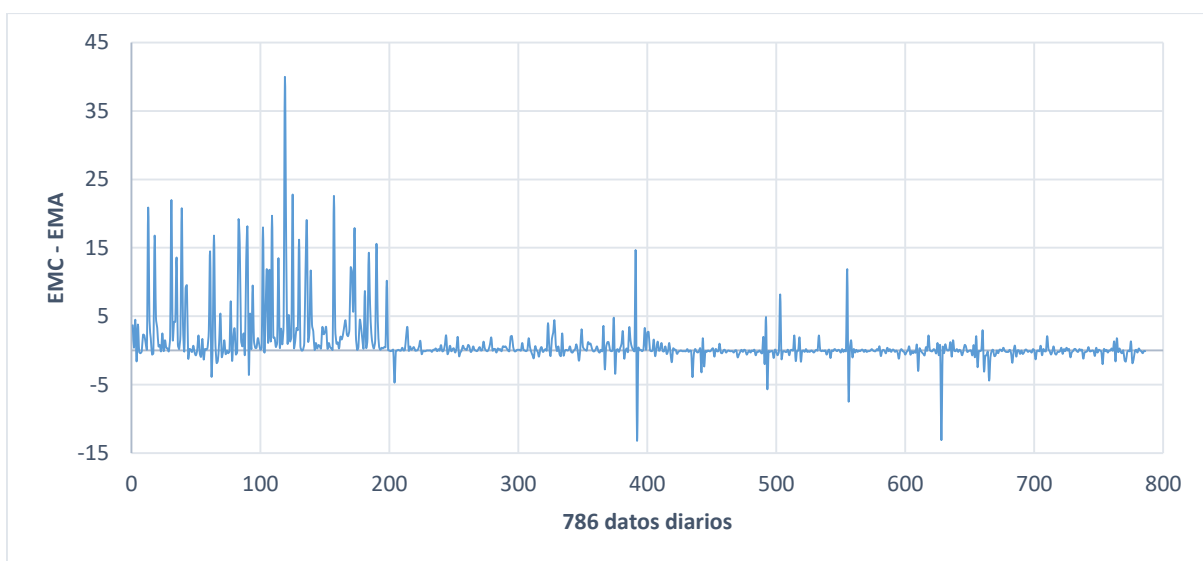
Se analizaron las series mes a mes desde 2018 al 2021 ya que, al existir datos faltantes por diversas causas como fallos del sensor y la transmisión de datos de la EMA no se puede

tomar la serie completa. Asimismo, en Colombia en la región andina el comportamiento en la precipitación mensual es de tipo bimodal por esta razón se determinó analizar la información de esta manera.

En la figura 6, se observa las diferencias en la precipitación de la estación convencional vs la estación automática, se puede evidenciar que desde 2018 a 2021 se tiene un total de 786 registros diarios de precipitación donde las diferencias de precipitación oscilan entre -13.1 mm a 40.0 mm, siendo el año 2018 donde se registran las mayores diferencias en la precipitación entre la estación convencional y la automática, mientras que para 2019, 2020 y 2021 las diferencias bajan y los datos son más cercanos entre sí.

Figura 6

Diferencias de precipitación diaria registrada en la EMA Marengo y EMC Sevilla desde 2018 a 2021



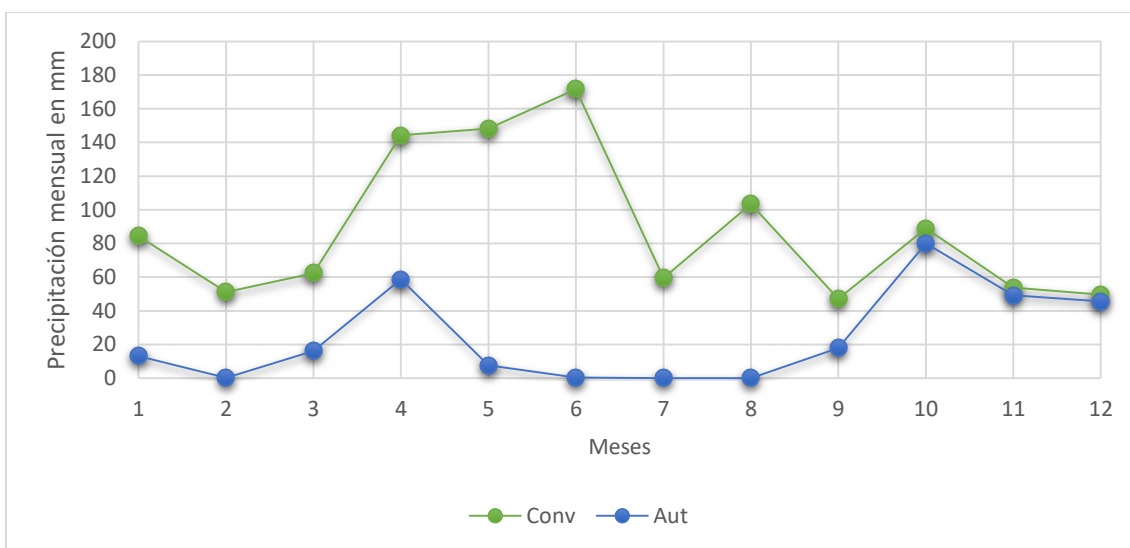
Nota. Grafica representativa diferencia de precipitación.

Analizando la información de forma mensual para el año 2018 se evidencia una diferencia significativa en las medias de las estaciones, en la EMC un valor de 4.0 y en la EMA

de 1.08 con una diferencia máxima entre los datos de 40.4 mm (Tabla 5). En la figura 7, se observa una gran diferencia en los valores mensuales desde el mes de enero al mes de septiembre, notándose varios errores como datos constantes que no varían con el tiempo para el caso el valor de 0 mm, sobre o subestimaciones de las mediciones los cuales son problemas asociados a fallos del sensor debido a derivas progresivas por mal funcionamiento o suciedad en el colector que bloquea el ingreso de agua afectando las mediciones. Asimismo, en el mes de octubre se registra que el sensor o la estación como tal recibió mantenimiento debido a que las lecturas mejoran significativamente presentando diferencias en el total mensual de 4.6 mm para el mes de noviembre y de 4.1 mm para diciembre y un total de datos reportados del 99%.

Figura 7

Precipitación mensual registrada en la EMA Marengo y EMC Sevilla año 2018



Nota. Grafica representativa precipitación mensual estaciones meteorológicas.

Tabla 5*Estadística descriptiva precipitación convencional vs automática 2018 al 2021*

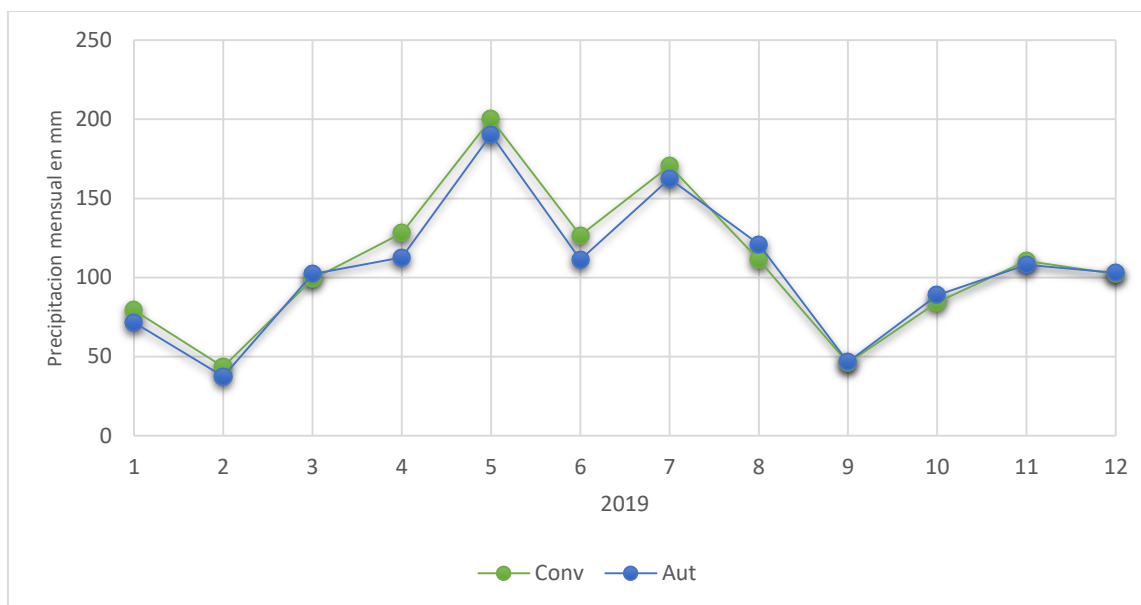
Estadística descriptiva	2018			2019			2020			2021		
	Conv	Aut	Dif	Conv	Aut	Dif	Conv	Aut	Dif	Conv	Aut	Dif
Media diaria (mm)	4	1,1	3,2	4,9	4,7	0,7	3,18	3,1	0,6	5	5,2	0,5
Desv. estándar (mm)	6	2,6	5,5	6,7	6,5	1,5	6,4	5,4	1,8	6,6	6,8	1,1
Mínimos diarios (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Máximos diarios (mm)	40	19,1	40	37,8	36	14,4	46	34,1	11,9	44,1	42,6	13,1

Nota: Dif (diferencia Conv - Aut).

Para el año 2019 se evidencia que los registros convencional y automático se acercan bastante mejorando significativamente los reportes comparados a los años anteriores, las diferencias oscilan entre -12.9 mm y 14.4 mm (figura 6), el valor medio diario de la EMA y EMC son muy cercanos con valores de 4,9 y 4,70 respectivamente (tabla 5), la desviación estándar de los datos automáticos y convencionales son cercanos con valores de 6.5 y 6.7 indicando que los datos no están tan dispersos. A nivel mensual la diferencia en la precipitación oscila entre -9.8 mm y 15.4 mm (figura 8).

Figura 8

Precipitación mensual registrada en la EMA Marengo y EMC Sevilla año 2019



Nota. Grafica representativa precipitación mensual estaciones meteorológicas 2019.

En el año 2020, la estación de Marengo dejó de reportar datos el día 15 de abril debido a que la licencia del servicio de comunicaciones había terminado y el Instituto no contaba con los recursos para reactivarlo, sumado a esto la estación necesitaba un cambio de batería por lo cual quedó fússer un año debido a la pandemia por el Covid – 19 y el confinamiento no era posible realizar visitas de operación y mantenimiento a las estaciones. En la figura 9, se observa que los valores de enero, febrero y marzo el total mensual de precipitación es muy cercano con diferencias entre 0.5, 5.1 y 0.6 mm respectivamente. En cuanto a los valores de precipitación media diaria (tabla 5) se observa que para los meses analizados son significativamente cercanos con valores de 3.2 para la EMC y para la EMA de 3.1, a diferencia de los rangos máximos de precipitación donde se evidencia una diferencia de 11,6 mm.

Figura 9

Precipitación mensual registrada en la EMA Marengo y EMC Sevilla año 2020

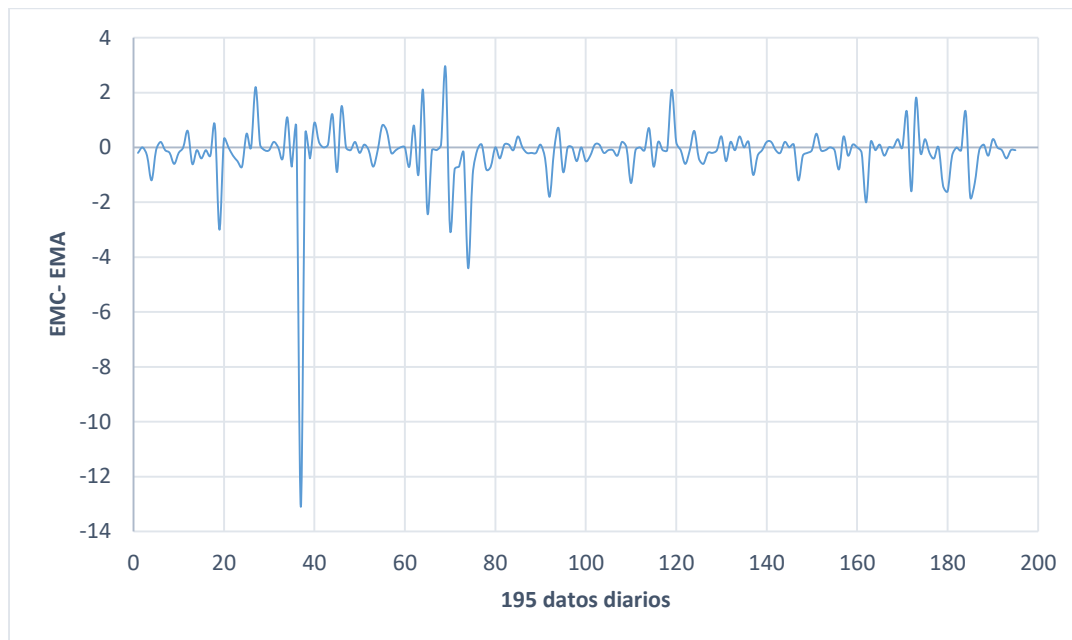


Nota. Grafica representativa precipitación mensual estaciones meteorológicas 2020.

A partir del 27 de abril de 2021 inició nuevamente la transmisión de datos de la EMA y se observa en la figura 10 que los datos de la estación automática están ligeramente por encima de los reportados por la estación convencional, con una distribución similar entre las dos estaciones debido a la precisión del sensor de precipitación y al mantenimiento recibido. Es de notar el dato del día 11 de junio con una diferencia de -13.1 mm ya que la estación convencional reporto un valor de 15.8 mm mientras que la EMA reporta 28.9 mm, donde se evidencia un posible error del observador, se corroboró el dato comparando con una estación pluviométrica cercana Insfopal (21010110) reportando un valor de 21.0 mm por lo que se acepta el dato registrado por la EMA.

Figura 10

Diferencias de precipitación diaria registrada en la EMA Marengo y EMC Sevilla año 2021



Nota. Grafica representativa precipitación mensual estaciones meteorológicas 2021.

9.1.2 Series de temperatura

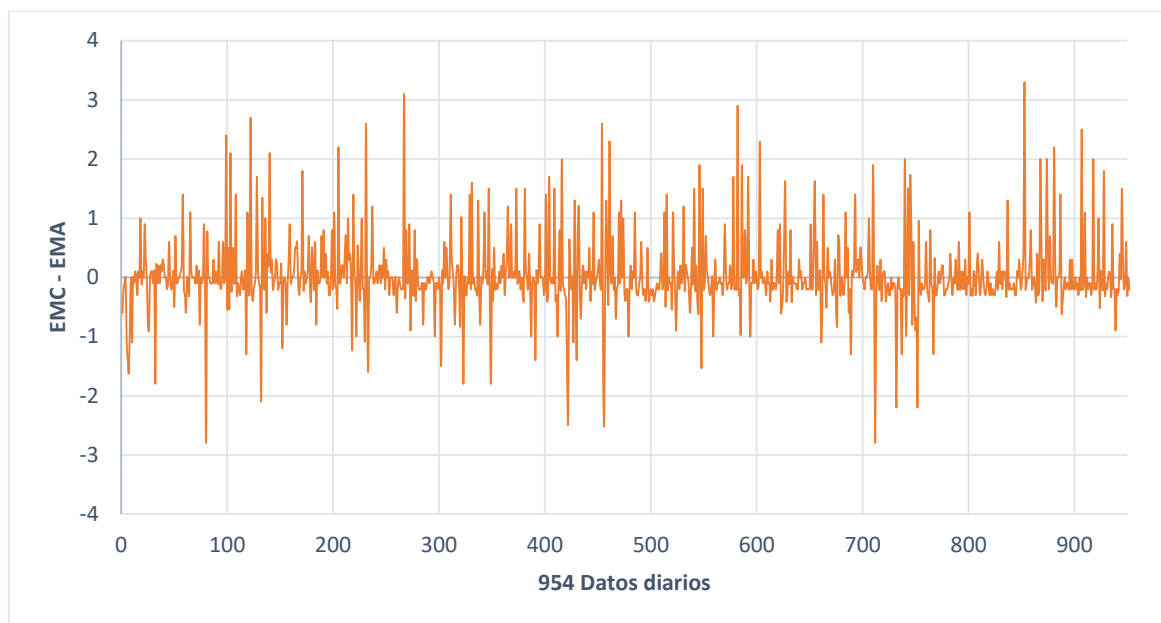
Temperatura mínima

Para el análisis de la temperatura mínima la información se descargó de manera diaria tanto para la estación convencional de Sevilla 21015020 y la automática de Marengo 21015050, que de acuerdo a los lineamientos de la OMM este valor se registra para las 7:00 horas del día. También se identificaron gran cantidad de datos faltantes para el periodo analizado de 2018 al 2021 y se ajustaron las series de tal manera que se tomaran en la convencional los mismos días reportados por la automática. En total se reportan 954 datos, en los cuales las diferencias entre las estaciones oscilan en -2.8°C y 3.3°C ; sin embargo, el valor medio diario es muy parecido encontrándose una diferencia entre la EMC y la EMA de 0.04°C y

una desviación estándar de 1.36 y 1.35 respectivamente indicando que los datos no están tan dispersos entre sí.

Figura 11

Diferencias temperatura mínima de la estación convencional Sevilla vs Estación automática Marengo de los años 2018 a 2021



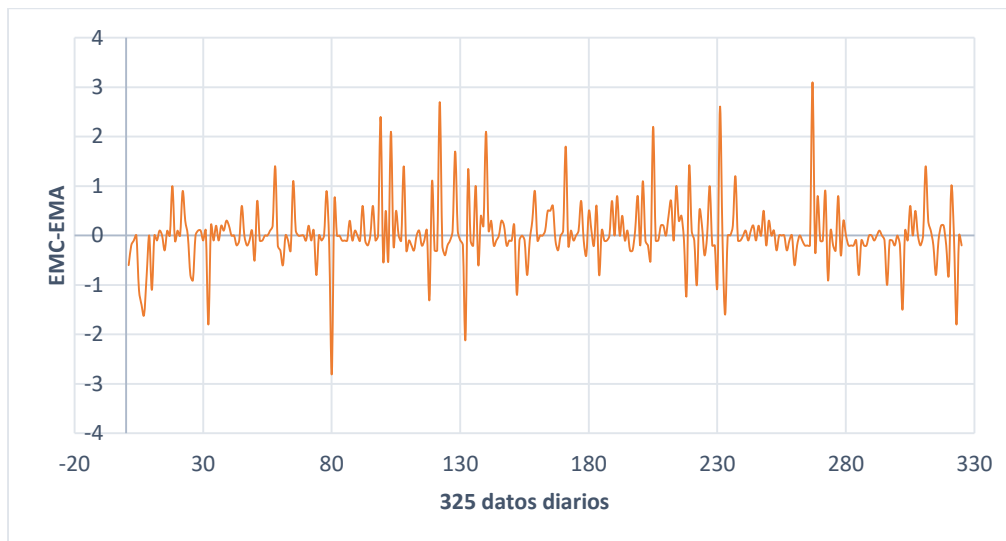
Nota. Grafica representativa precipitación mensual estaciones meteorológicas 2018-2021.

Para el año 2018, a diferencia del sensor de precipitación que fallo casi todo el año, el sensor de temperatura reportó 325 datos diarios, en los cuales la temperatura mínima oscila entre 11.7°C y 19.6 °C y para la estación convencional de 11.7 y 19.6 °C, indicando que los datos están muy cercanos siendo la diferencia entre las estaciones de 0.37°C en los valores medio diarios.

Figura 12

Diferencias entre la temperatura mínima diaria estación convencional vs automática año

2018



Nota. Grafica representativa diferencia de temperatura 2018.

En la figura 12, se muestra las diferencias de temperatura mínima diaria entre la EMC y la EMA oscila entre -2.8 y 3.1 donde la estación convencional Sevilla reporta los valores de temperatura mínima más alta que la estación automática. Asimismo, en las diferencias mensuales se observa diferencias hasta de -0.3°C para el mes de enero, mientras que para los demás meses como abril, mayo, junio y agosto es de 0.2 °C siendo los datos de la estación convencional mayores a la estación automática (tabla 6).

Tabla 6

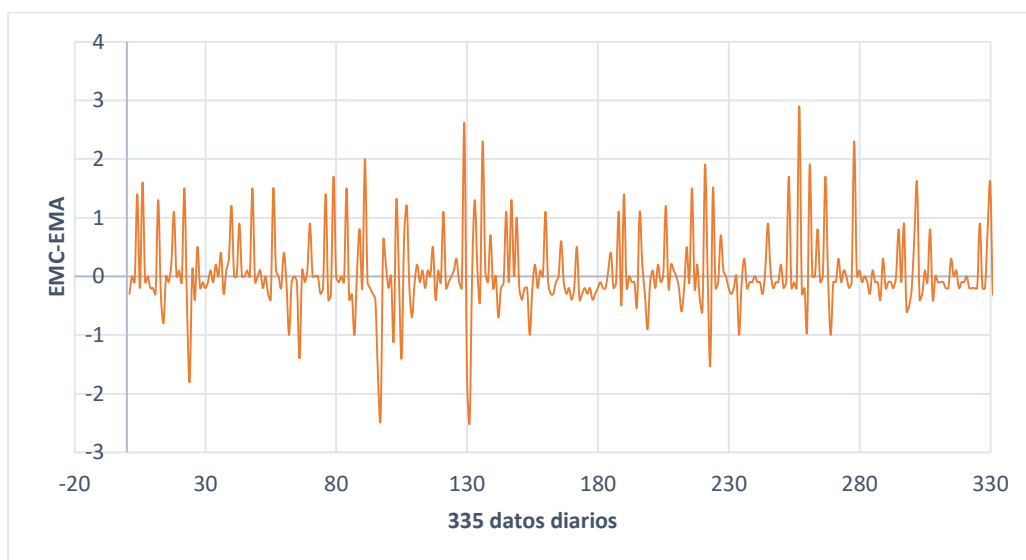
Temperatura mínima media mensual estación convencional vs automática año 2018

Temperatura mínima media °C												
2018	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Convencional	15,8	17,1	16	16,5	16,5	16,5	16,1	15,4	15,1	16,8	17,6	15,7
Automática	16,1	17,2	16	16,3	16,3	16,5	16	15,2	15	16,7	17,7	15,8
Diferencia	-0,3	-0,1	0	0,2	0,2	0	0,1	0,2	0,1	0,1	-0,1	-0,1

Para el año 2019 las temperaturas mínimas de la EMC varían entre 11.4 y 19.0°C, mientras que en la EMA es de 11.7 y 19 °C, los valores medios diarios difieren en 0.4°C, mientras que las diferencias diarias oscilan entre -2.5°C a 2.9°C (figura 13) mostrando que las diferencias en este periodo son menores comparadas con el año anterior.

Figura 13

Diferencias entre la temperatura mínima diaria estación convencional vs automática año 2019



Nota. Grafica representativa diferencia de temperatura 2019.

En cuanto a los valores mensuales la media de la estación convencional oscila entre 14.9°C a 17.3°C, mientras que en la estación automática varía entre 14.9 °C a 17.1°C, con diferencias en el mes de octubre de 0.3, mientras que para el mes de mayo, agosto y septiembre los valores mensuales son iguales entre las estaciones (tabla 7).

Tabla 7

Temperatura mínima media mensual estación convencional vs automática año 2019

Temperatura mínima media °C												
2019	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Convencional	17	17,3	17	16,4	17	16,4	15,9	14,9	15,3	15,7	16,9	17,2
Automática	16,9	17,2	17	16,5	17	16,3	16	14,9	15,3	15,4	16,8	17,1
Diferencia	0,1	0,1	0,1	-0,1	0	0,1	-0,1	0	0	0,3	0,1	0,1

En el año 2020 la estación automática de Marengo para temperatura mínima reporto 91 datos diarios que corresponde hasta el día 15 de abril, las temperaturas de la EMA oscilan entre 12.7 °C y 19.7°C mientras que la convencional reporta 12.8 y 19°C, se observa que los datos tienen diferencias un poco marcadas para el día 23, 25 de febrero y 23 de marzo con diferencias de 1.9°C, -2.8 °C y -2.2 °C respectivamente (figura 14), mostrando que los datos registrados por la estación automática son mayores a los reportados por la estación convencional.

Tabla 8

Temperatura mínima media mensual estación convencional vs automática año 2020

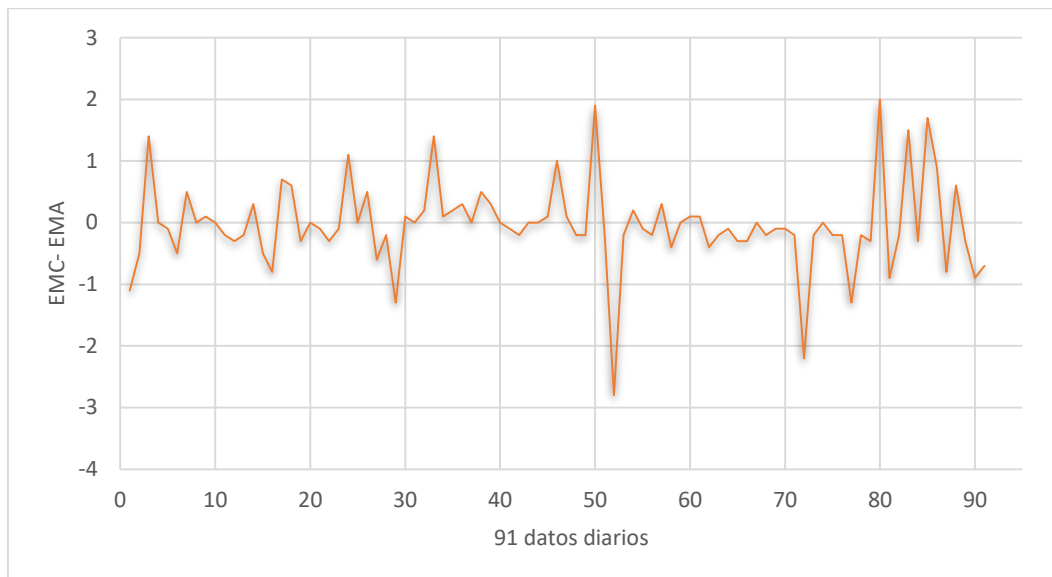
Temperatura mínima media °C				
2020	Ene	Feb	Mar	Abr
Convencional	16,4	16,4	17	16,7
Automática	16,5	16,3	17	16,7
Diferencia	-0,1	0,1	-0,3	0

En cuanto a los valores mensuales se observa que para el mes de enero y marzo los valores de la EMA son mayores en -0.1°C y -0.3°C respectivamente.

Figura 14

Diferencias entre la temperatura mínima diaria estación convencional vs automática año

2020



Nota. Grafica representativa diferencia de temperatura mínima 2020.

Como se menciona anteriormente la estación automática reporto datos a partir de 26 de abril de 2021, después de estar fusser por casi un año, reporto 203 datos diarios aproximadamente; en la figura 14 se observa las diferencias de temperatura mínima con valores que oscilan entre $-2.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $3.3\text{ }^{\circ}\text{C}$, siendo menor los datos reportados por la automática, pero se muestra que hay cerca de 11 datos donde la estación convencional reporta datos mayores a la automática cuyas diferencias están por encima de $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ que hacen que se eleven los picos en el lado positivo de la gráfica.

Tabla 9

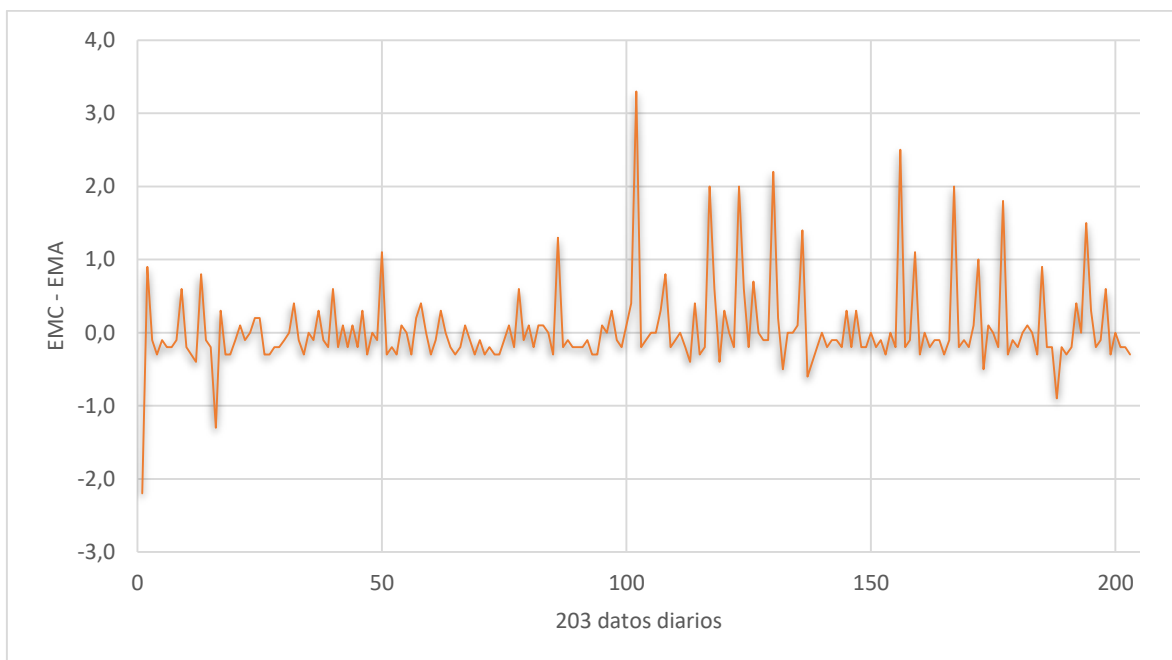
Temperatura mínima media mensual estación convencional vs automática año 2021

		Temperatura mínima media °C							
2021		May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Convencional		17,3	16,4	16	15,9	14,9	16,4	16,9	17,3
Automática		17,4	16,4	16	15,7	14,6	16,4	16,7	17,3
Diferencia		-0,1	0	-0,1	0,1	0,3	0,1	0,2	0

En los valores mínimos mensuales (tabla 9) la diferencia más marcada se releja en el mes de septiembre con 0.3°C mientras que para el mes de junio y diciembre los valores entre las estaciones son iguales.

Figura 15

Diferencias entre la temperatura mínima diaria estación convencional vs automática año 2021



Nota. Grafica representativa diferencia de temperatura mínima 2021.

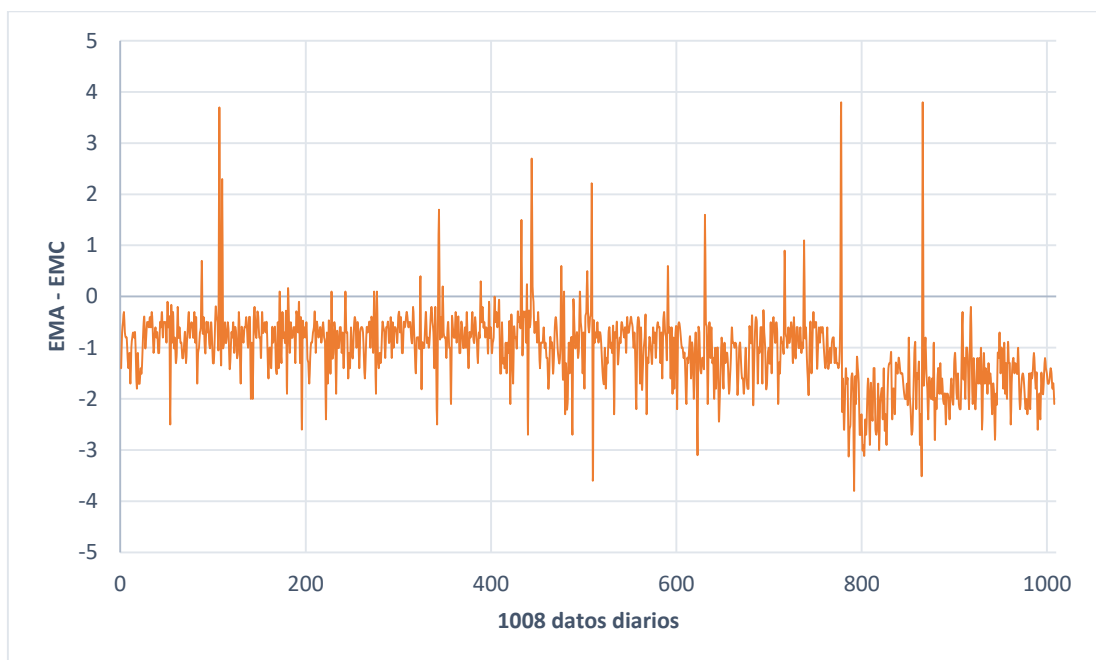
Temperatura Máxima

Para el análisis de temperatura máxima la información se descargó de manera diaria tanto para la estación convencional de Sevilla (21015020) y la estación automática de Marengo (21015050), que de acuerdo a los lineamientos de la OMM este valor se registra para las 19:00 horas del día. Se analizó la información de 2018 al 2021 reportando un total de 1008 datos diarios, registrando un volumen mayor en comparación con la temperatura mínima.

Tomando la serie completa desde el año 2018 a 2021 se puede observar que la EMA reporta valores de temperatura máxima mayores a los de la estación convencional, con una diferencia de valores medios de 1.0 °C una de la otra (figura 15). El rango de temperatura para la estación convencional oscila entre 20.6 °C y 32 °C y de 20.9 °C a 31.8 °C en la estación automática.

Figura 16

Diferencias temperatura máxima de la estación convencional Sevilla vs Estación automática Marengo de los años 2018 a 2021



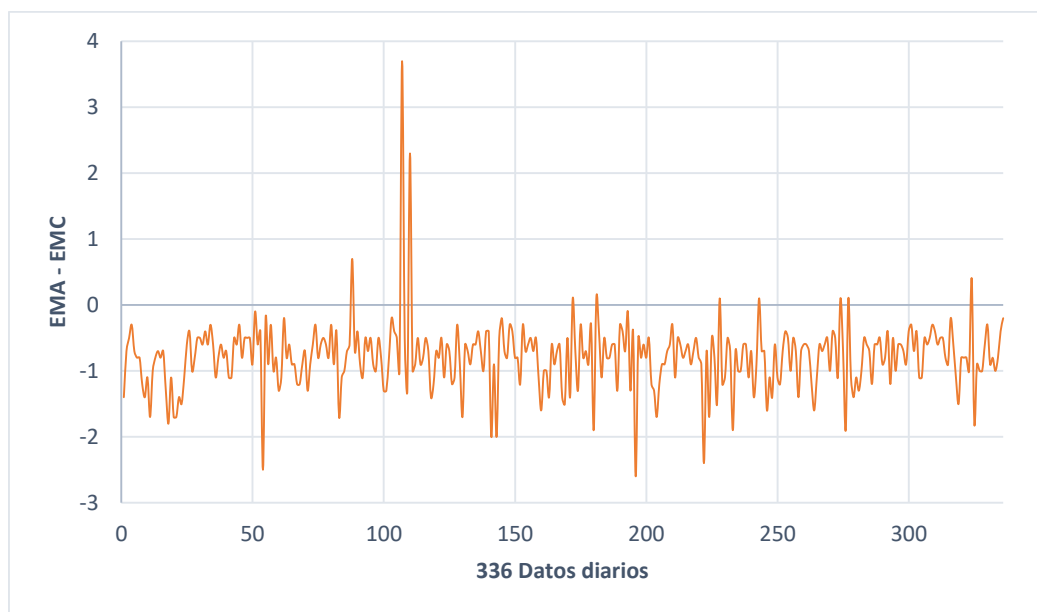
Nota. Grafica representativa temperatura máxima 2018-2021.

En la figura 15 se puede observar que hay diferencias máximas de 3.8°C , donde la diferencia de la EMA con la estación convencional es notable debido a que los valores se ubican mayormente entre -0.5°C y -3.8°C mostrando que los valores de la EMA son mayores en comparación con la estación convencional, excepto los días 26 de abril de 2018, el día 26 de abril y 30 de julio de 2021 que registran datos con diferencias mayores de 3.0°C los cuales fueron comparados con estaciones cercanas para descartar un posible error de lectura del observador, pero los datos fueron conformes.

Analizando la información por año se puede evidenciar claramente los picos mas elevados y confirmar las lecturas por ejemplo los datos registrados para los días 26 y 29 de abril, así como se observa en forma mas clara que las diferencias se ubican principalmente en la region negativa de la grafica 17 lo que significa que la EMA reporta valores de temperatura maxima mayores a los reportados por la estacion convencional.

Figura 17

Diferencias temperatura máxima de la estación convencional Sevilla vs Estación automática Marengo año 2018



Nota. Grafica representativa temperatura máxima 2018.

En la tabla 10 se muestran las temperaturas máximas medias mensuales de la EMC y la EMA en la cual se evidencia que entre ellas existe una diferencia que oscila entre -0.4 y -1.0 °C donde los valores reportados por la estación automática siguen siendo mayores a la estación convencional.

Tabla 10

Temperatura máxima media mensual de la estación convencional Sevilla vs la estación Automática Marengo del año 2018

Temperatura máxima media mensual °C												
2018	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Convencional	26,1	26,8	26,4	25,4	25,3	24,4	24,4	24,7	25,9	26,5	26,8	26,7
Automática	27,2	27,5	27,1	25,9	26,1	25,2	25,2	25,6	26,8	27,3	27,6	27,1
Diferencia	-1,0	-0,7	-0,8	-0,5	-0,8	-0,8	-0,8	-0,9	-0,9	-0,8	-0,8	-0,4

En la figura 18 se muestra el mismo patrón al año anterior, la EMA reporta datos de temperatura máxima mayores comparados con la EMC, donde las diferencias se ubican principalmente en el eje negativo con valores que oscilan entre 0 y -3.6°C, a excepción de 7 datos con picos mayores en el lado positivo donde la estación convencional reporto datos mayores a la estación automática. De la misma forma se observa en la tabla con las medias mensuales cuyas diferencias varían entre -0.4 °C y -1.3°C, siendo los meses de octubre, noviembre y diciembre de 2019 con las mayores diferencias en la temperatura máxima.

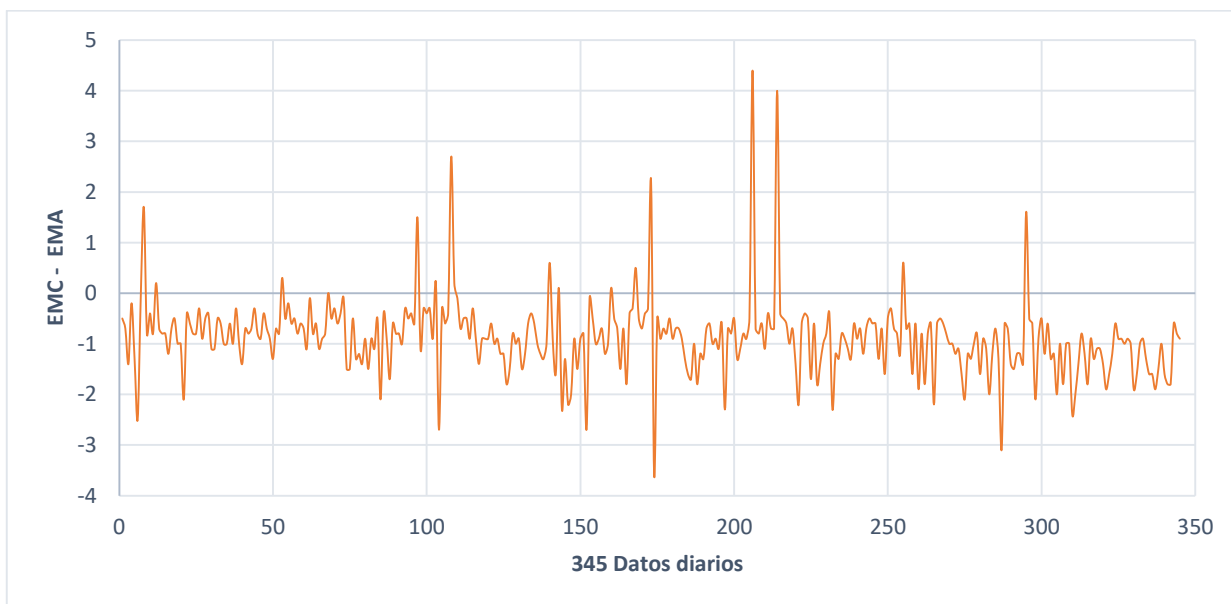
Tabla 11

Temperatura máxima media mensual de la estación convencional Sevilla vs la estación Automática Marengo del año 2019

Temperatura máxima media mensual °C												
2019	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Convencional	25,7	27,2	26,8	26,5	25,9	25	24,2	24,5	26,2	26,1	26,1	26,5
Automática	26,4	27,9	27,6	26,9	27	25,6	25,3	25,1	27,1	27,3	27,3	27,8
Diferencia	-0,7	-0,7	-0,8	-0,4	-1,1	-0,6	-1,1	-0,6	-0,9	-1,2	-1,2	-1,3

Figura 18

Diferencias temperatura máxima de la estación convencional Sevilla vs Estación automática Marengo año 2019



Nota. Grafica representativa temperatura máxima 2019. *Fuente:* IDEAM.

Para el año 2020 la EMA reportó 94 datos diarios, con diferencias que oscilan entre -2.1 °C y 1.1°C donde se puede observar en la figura 19 que los datos de la estación automática siguen siendo mayores a los reportados por la estación convencional. Para las temperaturas

máximas medias se calcula el valor para los meses de enero, febrero y marzo, ya que el mes de abril no cumple con el mínimo de cobertura de 16 días; la tabla 12 indica que las diferencias mensuales oscilan entre -0.8°C y -1.0°C siendo valores negativos que corresponden a lo mencionado anteriormente que la estación automática de Marengo reporta valores mayores a los de la estación convencional.

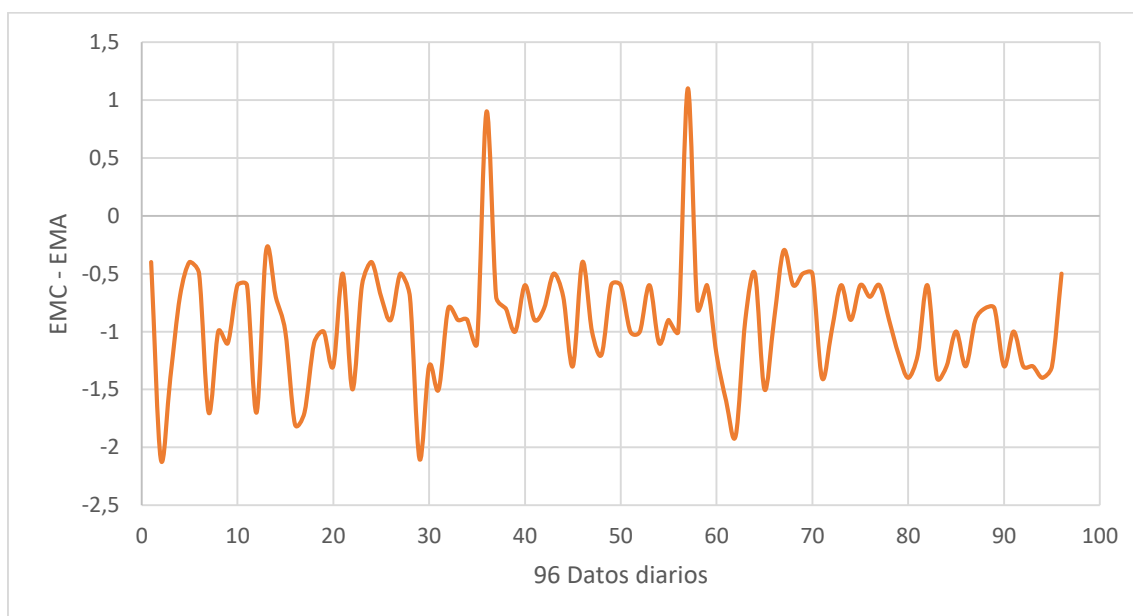
Tabla 12

Temperatura máxima media mensual de la estación convencional Sevilla vs la estación Automática Marengo del año 2020

Temperatura máxima media °C			
2020	Ene	Feb	Mar
Convencional	26,8	28	27
Automática	27,8	28,8	27,9
Diferencia	-1	-0,8	-0,9

Figura 19

Diferencias temperatura máxima de la estación convencional Sevilla vs Estación automática Marengo año 2020

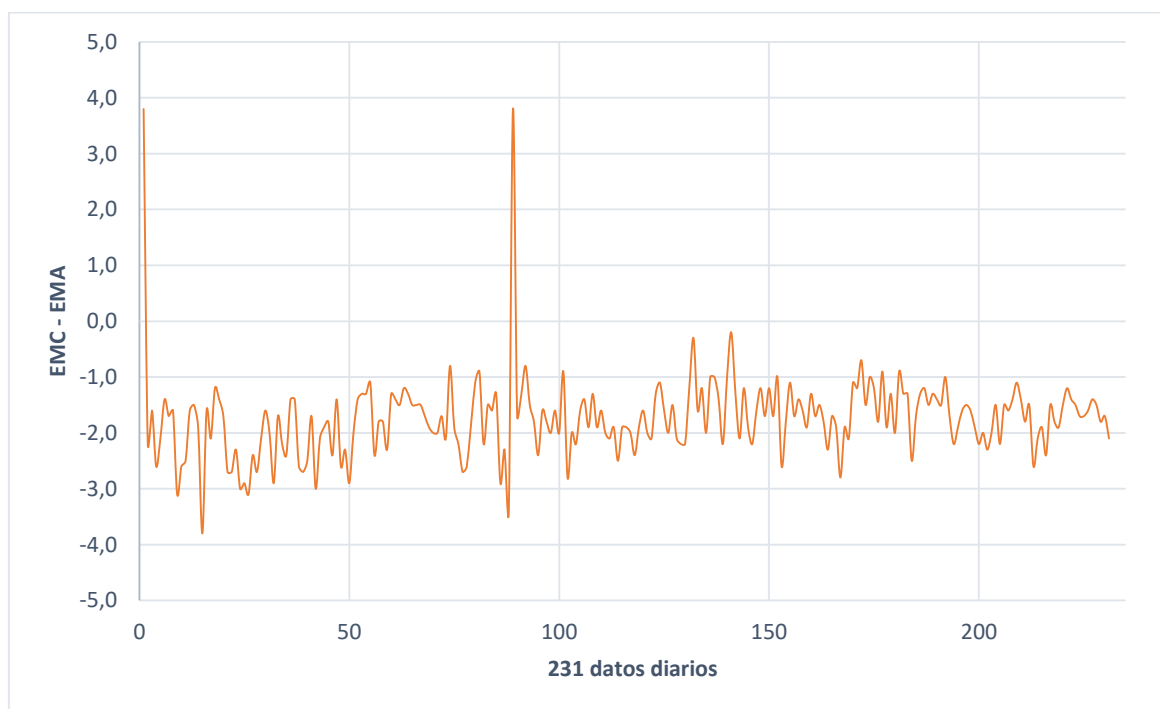


Nota. Grafica representativa temperatura máxima 2020.

La estación automática de Marengo en temperaturas máximas, reporta valores diarios a partir de 26 de abril de 2020 con un total de 231 datos. Para el año 2020 se observan dos datos con diferencias superiores a 3.0°C, uno de ellos se presentó el 26 de abril con 3.8°C, el siguiente corresponde al día 30 de julio con una diferencia de 3.8°C, los cuales fueron verificados con estaciones de la zona para descartar un posible error del observador voluntario en la estación convencional, sin embargo, son datos consistentes. Se destaca que los datos en su mayoría se ubican en el eje negativo con diferencias que oscilan entre -0.1 y -3.8 °C.

Figura 20

Diferencias temperatura máxima de la estación convencional Sevilla vs Estación automática Marengo año 2020



Nota. Grafica representativa diferencia de temperatura máxima 2020.

Para este año se evidencia unas diferencias más marcadas en comparación con los años anteriores, la tabla 13 indica las diferencias mensuales de temperatura máxima media las

cuales oscilan entre -1.5 y -2.3 °C siendo mayores a de los años anteriores que variaban entre -0.4 y -1.3°C.

Tabla 13

Temperatura máxima media mensual de la estación convencional Sevilla vs la estación Automática Marengo del año 2021

Temperatura máxima media °C									
2021	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Convencional	26,1	25,3	24,4	25,3	26,1	27,1	26,2	26,7	
Automática	28,4	27,3	26	27,1	27,6	28,7	27,9	28,4	
Diferencia	-2,3	-2	-1,6	-1,8	-1,5	-1,6	-1,7	-1,7	

Temperatura seca (07:00, 13:00 y 19:00)

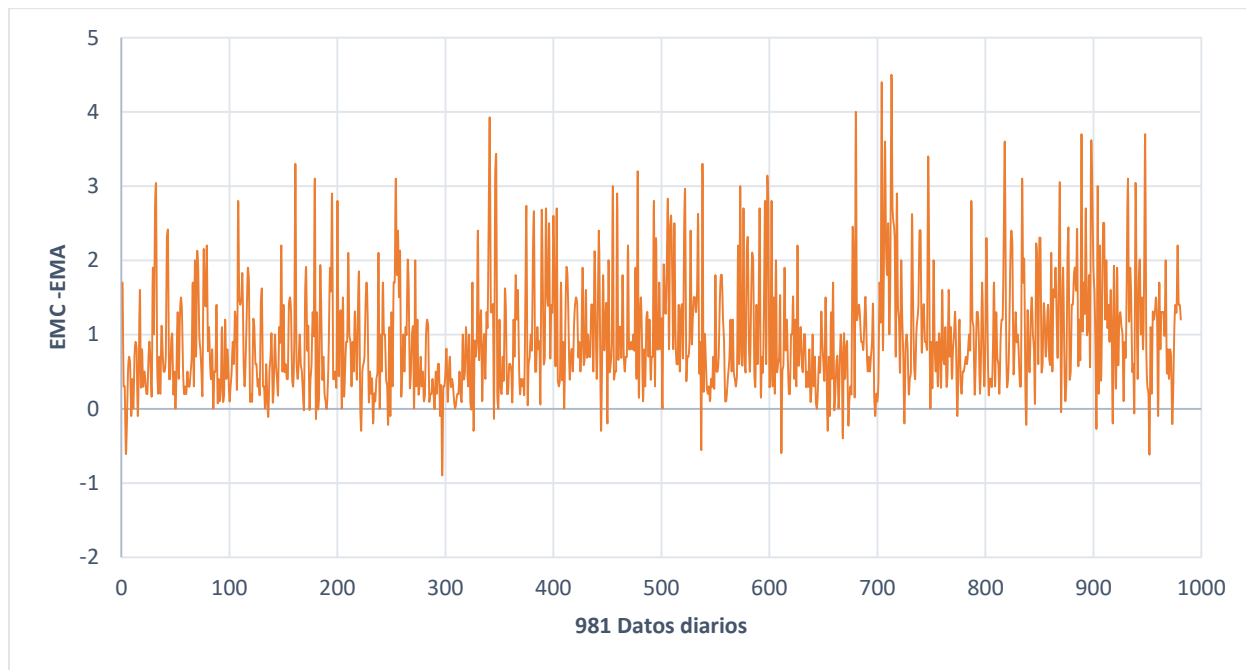
Los datos de temperatura seca en la estación automática se obtienen hora a hora, pero en la estación convencional el observador realiza tres lecturas diarias, conforme a los lineamientos de la OMM para las observaciones meteorológicas. Por esta razón para la realizar la comparación de los datos entre las estaciones se tomaron las mismas horas de 7:00, 13:00 y 19:00 en la estación automática.

Temperatura 7:00 horas

Para el periodo comprendido entre 2018 y 2021 para temperatura de las 7:00 horas se tiene como total de 981 datos diarios, de los cuales en la figura 21 se puede observar que los datos de la estación convencional son mayores a los reportados por la estación automática. También indica que a partir del 29 de enero de 2020 hay un aumento significativo en las diferencias entre las temperaturas registradas por la estación convencional y automática, ya que las diferencias aumentan y oscilan entre 3°C y 5,2°C. Pero analizando la media de la serie de datos para la estación convencional es de 18.3°C, mientras que para la estación automática es de 17.3°C con una diferencia de 1°C en los reportes, siendo 18°C y 17.9°C las temperaturas que más se repiten en la serie de datos.

Figura 21

Diferencias temperatura seca 7:00 horas de la estación convencional Sevilla vs Estación automática Marengo año 2018 al 2021



Nota. Grafica representativa temperatura seca 2018-2020.

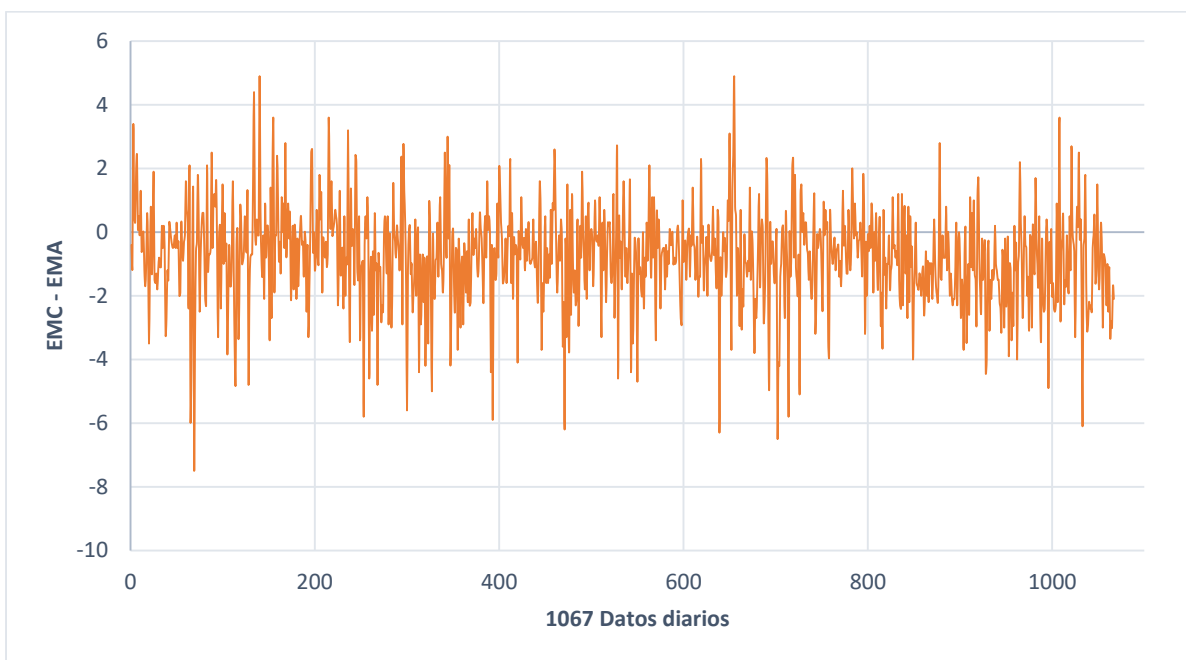
Temperatura 13:00 horas

Para el periodo comprendido entre 2018 y 2021 para temperatura de las 13:00 horas se tiene como total de 1067 datos diarios, en esta serie de datos se encontró diferencias entre los reportes de las estaciones que oscilan entre -7.5°C y 4.9°C notándose una mayor diferencia comparado con la lectura de las 7:00 horas. En cuanto a los valores medios, la convencional tiene una media de 24.5°C y la estación automática de 25.2°C con una diferencia entre ellas de -0.7°C , pero con una desviación mayor de 2.1 y 2.4 respectivamente.

Se nota que las temperaturas a esa hora no son tan parecidas entre sí, aunque la diferencia de medias sea menor que las lecturas de las 7:00 de la mañana.

Figura 22

Diferencias temperatura seca 13:00 horas de la estación convencional Sevilla vs Estación automática Marengo año 2018 al 2021



Nota. Grafica representativa temperatura seca 2018-2020.

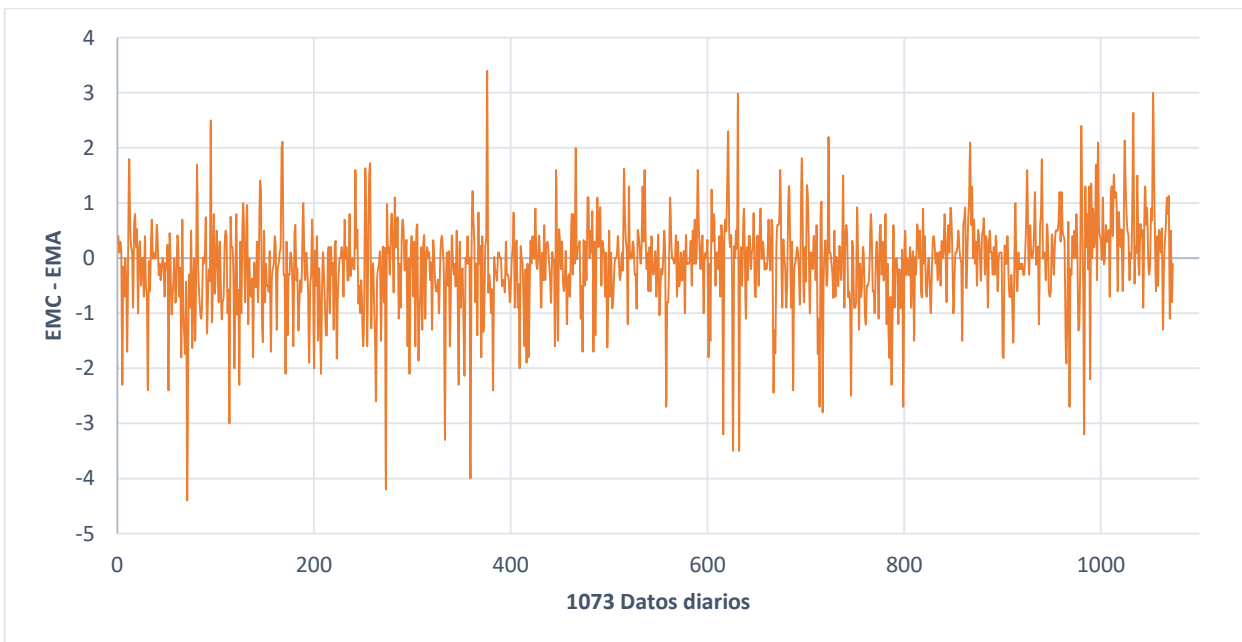
Temperatura 19:00 horas

Para el periodo comprendido entre 2018 y 2021 para temperatura de las 19:00 horas se tiene como total de 1073 datos diarios, de los cuales en la figura 23 se observa que para esta hora las diferencias oscilan entre -4.4°C y 3.4°C , con una variación de las temperaturas de 15.7°C y 23.8°C en la estación convencional y de 16.6°C y 24.0°C para la estación automática.

En cuanto a los valores medios están bastante cercanos con 20.2°C y 20.3°C respectivamente, con una diferencia de 0.1°C grados entre las lecturas, asimismo, la desviación estándar entre ellas es muy parecida de 1.41 para la estación automática y de 1.43 para la estación convencional.

Figura 23

Diferencias temperatura seca 19:00 horas de la estación convencional Sevilla vs Estación automática Marengo año 2018 al 2021.



Nota. Grafica representativa temperatura seca 2018-2020.

9.2 Correlación de series de temperatura y precipitación automática vs convencional

Pruebas de normalidad series de precipitación y temperatura.

Analizando las series de precipitación y temperatura tanto de la estación automática Marengo y la estación convencional Sevilla se sometió a pruebas estadísticas de Lilliefors para determinar si los datos tienen una distribución normal, esta prueba está basada en la prueba de Kolmogorov –Smirnov.

Realizando los cálculos en el Software R-Studio para la serie de datos completa (2018-2021) se tomó como hipótesis:

H₀: los datos tienen una distribución normal

H_a: Los datos no tienen una distribución normal.

Para la serie convencional

D= 0.29524 P-valúe = $2.2e^{-16}$

El valor de P es menor a 0.05 por lo que se puede afirmar que los datos no tienen una distribución normal y se rechaza la hipótesis nula.

Para la serie automática

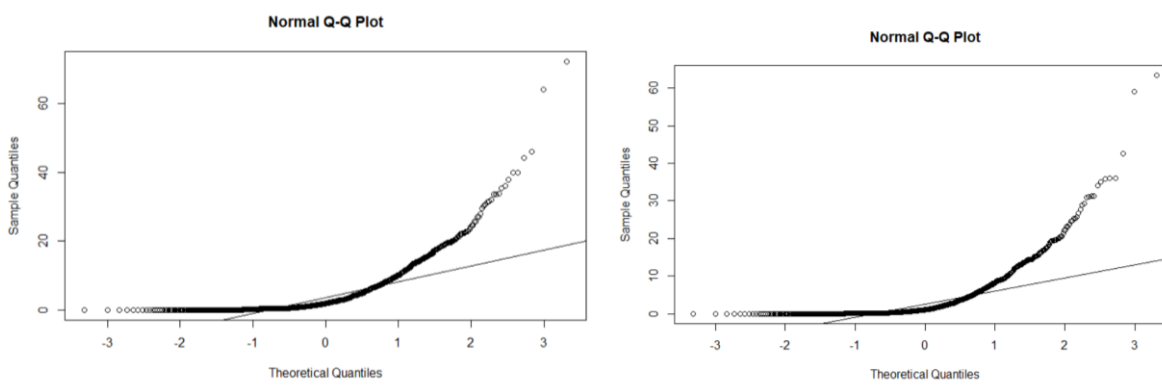
D= 0.31224 P-valúe = $2.2e^{-16}$

El valor de P es menor a 0.05 por lo que se puede afirmar que los datos no tienen una distribución normal y se rechaza la hipótesis nula.

Gráficamente también se puede evidenciar que los datos de precipitación no tienen una distribución normal ya que los puntos no se acercan a la recta diagonal tal como se aprecia en la figura 24.

Figura 24

Gráfico QQnorm precipitación convencional y automática



Nota. Grafica representativa q-q normal.

Para las series de temperatura se analizaron las variables de temperatura mínima, máxima y secos 07:00, 13:00 y 19:00 horas, realizando los cálculos en el Software R-Studio para la serie de datos completa (2018-2021) tomándose como hipótesis:

Ho: los datos tienen una distribución normal

Ha: Los datos no tienen una distribución normal.

En la tabla 14 se detalla por cada variable el p-valúe obtenido en la prueba en cada variable, se observa que para ninguna de las variables de temperatura mínima, máxima y horarias se cumple el H0 por lo tanto se puede afirmar que los datos no tienen una distribución normal.

Tabla 14

Prueba de normalidad Lilliefors variable de temperatura convencional vs automática

Variable	Convencional		Automática	
	P-valúe	Ho	P-valúe	Ho
Temperatura Mínima	2,2E-16	No cumple	2,092E-07	No cumple
Temperatura Máxima	1,877E-15	No cumple	1,042E-09	No cumple
07:00 horas	5,468E-12	No cumple	1,065E-09	No cumple
13:00 horas	1,139E-10	No cumple	1,574E-12	No cumple
19:00 horas	2,634E-06	No cumple	5,486E-05	No cumple

Nota. Se acepta el Ho por ser mayor la significación del estadístico de contraste alfa = 0.05.

Prueba de rangos asignados de Wilcoxon

Al determinarse que los datos de precipitación no cumplen el requisito de normalidad se utiliza la prueba de Wilcoxon, se analiza la serie mes a mes. Se plantea la hipótesis así:

Ho: La distribución de las diferencias de las dos series tiene una distribución continua y simétrica a una mediana igual a cero

Ha: La distribución de las diferencias de las dos series tiene una distribución continua y simétrica a una mediana diferentes a cero.

Con el paquete R se analizaron los datos mes a mes de los años 2018 a 2021, para realizar este análisis se ajustaron las series de la estación automática y convencional de manera que solo tuvieran datos de precipitación mayores a cero. En la tabla 15, se muestra que a pesar de tener datos todo el año en esta variable solo se logró aplicar la prueba a los meses de octubre a diciembre, debido a lo mencionado anteriormente con los ceros y el problema del sensor. Se puede evidenciar que para los meses de octubre y noviembre la hipótesis nula se rechaza y afirmando que las distribuciones de los datos son diferentes uno respecto al otro, mientras que para diciembre el H_0 si se cumple. En el año 2019 la hipótesis nula se cumple en los meses de febrero, marzo, julio, agosto, septiembre, noviembre y diciembre. En el año 2020 y 2021 se cumple aceptando el H_0 en todos los meses analizados con un p-valúe que oscila entre 0.07 y 0.68, se puede afirmar que del desplazamiento de los datos con respecto a las series si son iguales.

Tabla 15

Prueba de rangos Wilcoxon para la estación convencional vs automática de los años

2018 al 2021

Prueba de rangos asignados de Wilcoxon								
Meses	2018		2019		2020		2021	
	P-valúe	Ho	P-valúe	Ho	P-valúe	Ho	P-valúe	Ho
Enero	-	-	0,001	No cumple	0,681	Cumple	-	-
Febrero	-	-	0,058	Cumple	0,475	Cumple	-	-
Marzo	-	-	0,706	Cumple	0,753	Cumple	-	-
Abril	-	-	0,0158	No cumple	-	-	-	-
Mayo	-	-	0,0168	No cumple	-	-	0,286	Cumple
Junio	-	-	0,040	No cumple	-	-	0,255	Cumple
Julio	-	-	0,090	Cumple	-	-	0,074	Cumple
Agosto	-	-	0,056	Cumple	-	-	0,121	Cumple
Septiembre	-	-	0,514	Cumple	-	-	0,632	Cumple
Octubre	0,02481	No cumple	0,0019	No cumple	-	-	0,538	Cumple
Noviembre	0,02781	No cumple	0,089	Cumple	-	-	0,653	Cumple
Diciembre	0,06637	Cumple	0,351	Cumple	-	-	0,065	Cumple

Nota: Se acepta el H_0 por ser mayor la significación del estadístico de contraste alfa = 0.05.

Pruebas de comparación de distribución Kolmogorow- Smirnow

Ho: La distribución de la serie de precipitación automática es similar a la convencional

Ha: La distribución de la serie de precipitación automática no es similar a la convencional

Tabla 16

Comparación distribución Kolmogorow- Smirnow para la estación convencional vs automática de los años 2018 al 2021

Pruebas de comparación de distribución Kolmogorow- Smirnow								
Meses	2018		2019		2020		2021	
	P-valúe	Ho	P-valúe	Ho	P-valúe	Ho	P-valúe	Ho
Enero	-	-	0.983	Cumple	0.998	Cumple	-	-
Febrero	-	-	0.993	Cumple	0.993	Cumple	-	-
Marzo	-	-	0.993	Cumple	0.999	Cumple	-	-
Abril	-	-	0.954	Cumple	-	-	-	-
Mayo	-	-	1	Cumple	-	-	1	Cumple
Junio	-	-	0.989	Cumple	-	-	1	Cumple
Julio	-	-	1	Cumple	-	-	1	Cumple
Agosto	-	-	1	Cumple	-	-	1	Cumple
Septiembre	-	-	1	Cumple	-	-	0.964	Cumple
Octubre	1	Cumple	1	Cumple	-	-	0.999	Cumple
Noviembre	0,999	Cumple	1	Cumple	-	-	0.983	Cumple
Diciembre	0.996	Cumple	1	Cumple	-	-	0.999	Cumple

Nota: Se acepta el Ho por ser mayor la significación del estadístico de contraste alfa = 0.05.

A diferencia de la prueba anterior, el coeficiente de Kolmogorow- Smirnow la hipótesis nula Ho se acepta en todos los meses de precipitación con valores que oscilan entre 0.95 y 1.0, lo que nos indica que las series que comportan de manera distribuida y parecida entre ellas.

Coeficiente de correlación de Spearman

Hipótesis nula Ho: estima que todos los datos de la estación automática son independientes e idénticamente distribuidos.

Hipótesis alterna Ha: Estima que los datos de la estación automática aumentan o disminuyen con los datos convencionales

Tabla 17

Correlación de Spearman para la estación convencional vs automática de los años 2018 al 2021

Pruebas de Correlación de Spearman								
Meses	2018		2019		2020		2021	
	R	P-valúe	R	P-valúe	R	P-valúe	R	P-valúe
Enero	-	-	0.983	1,50E-15	0.939	1,88E-06	-	-
Febrero	-	-	0.984	4,62E-08	0.911	9,55E-05	-	-
Marzo	-	-	0.976	2,07E-11	0.985	3,95E-12	-	-
Abril	-	-	0.955	2,44E-09	-	-	-	-
Mayo	-	-	0.977	2,54E-14	-	-	0.980	5,86E-15
Junio	-	-	0.856	1,80E-07	-	-	0.990	2.2e-16
Julio	-	-	0.992	2.2e-16	-	-	0.978	8,46E-14
Agosto	-	-	0.979	9,38E-15	-	-	0.978	5,55E-16
Septiembre	-	-	0.984	7,46E-09	-	-	0.967	5,73E-11
Octubre	0.981	7,51E-16	0.992	2.2e-16	-	-	0.989	9,90E-06
Noviembre	0.993	2.2e-16	0.838	2,12E-03	-	-	0.988	2.2e-16
Diciembre	0.959	7,79E-07	0.990	2.2e-16	-	-	0.992	3,58E-15

Nota: Se acepta el Ho por ser mayor la significación del estadístico de contraste alfa = 0.05.

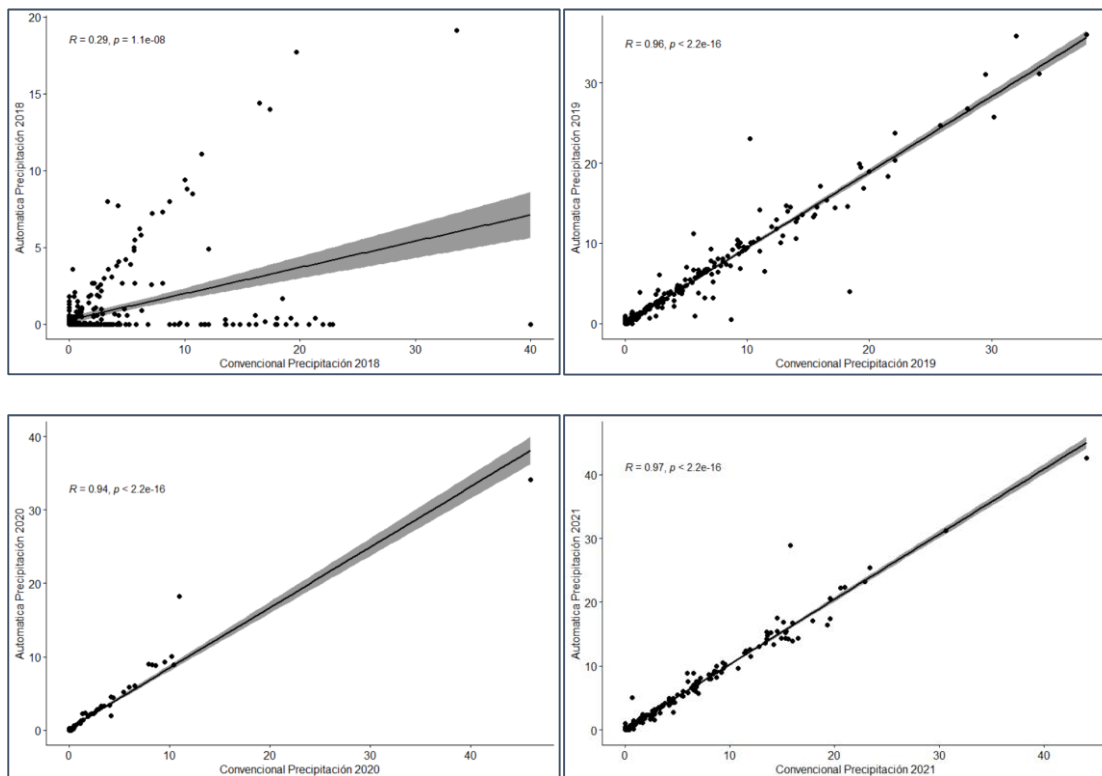
El p-valúe de la correlación de Spearman se identifica que se rechaza la hipótesis nula en todos los años analizados de precipitación de 2018 al 2021, por lo tanto, se puede afirmar que los datos de la estación automática aumentan o disminuyen conforme al comportamiento de los datos de la estación convencional ya que existe una tendencia entre ellos. Asimismo, el valor del R según la escala los valores se sitúan por encima de 0.85 indicando un rango de relación fuerte.

Gráficamente también se puede evidenciar la relación entre las series de precipitación de forma anual de los años 2018 al 2021 con el diagrama de dispersión de datos (figura 25), se puede notar claramente el problema evidenciado con el sensor en el año 2018, a diferencia de los años 2019, 2020 y 2021 donde la dispersión de los datos es más uniforme.

Figura 25

Diagrama de dispersión datos de precipitación convencional vs automática años 2018 al

2021



Nota. Diagrama dispersión de datos 2018-2021.

Coeficiente de inconsistencia y consistencia

Para el análisis del coeficiente de inconsistencia y consistencia de Colotti et al. (2003) se realizó comparaciones mes a mes desde 2018 al 2021, solo se tomaron como valores comparables aquellos días donde existiera lluvia (mayores a cero) en alguna de las series de precipitación convencional y automática, en la tabla 18 se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 18

Coefficientes de Inconsistencia y consistencia resultantes de la comparación de lluvia diaria entre la EMC Sevilla y la EMA Marengo

Año		2018	2019	2020	2021
Enero	Días de lluvia	-	21	13	-
	Coef de inconsistencia (Ci)	-	0,007	0,025	-
	Coef de consistencia (Cc)	-	0,993	0,975	-
	Cc (%)	-	99,261	97,457	-
Febrero	Días de lluvia	-	11	11	-
	Coef de inconsistencia (Ci)	-	0,015	0,050	-
	Coef de consistencia (Cc)	-	0,985	0,950	-
	Cc (%)	-	98,458	95,048	-
Marzo	Días de lluvia	-	17	16	-
	Coef de inconsistencia (Ci)	-	0,001	0,002	-
	Coef de consistencia (Cc)	-	0,999	0,998	-
	Cc (%)	-	99,873	99,795	-
Abril	Días de lluvia	-	17	-	-
	Coef de inconsistencia (Ci)	-	0,014	-	-
	Coef de consistencia (Cc)	-	0,986	-	-
	Cc (%)	-	98,561	-	-
Mayo	Días de lluvia	-	21	-	21
	Coef de inconsistencia (Ci)	-	0,011	-	0,004
	Coef de consistencia (Cc)	-	0,989	-	0,996
	Cc (%)	-	98,862	-	99,555
Junio	Días de lluvia	-	23	-	23
	Coef de inconsistencia (Ci)	-	0,262	-	0,036
	Coef de consistencia (Cc)	-	0,738	-	0,964
	Cc (%)	-	73,814	-	96,368
Julio	Días de lluvia	-	21	-	20
	Coef de inconsistencia (Ci)	-	0,004	-	0,017
	Coef de consistencia (Cc)	-	0,996	-	0,983
	Cc (%)	-	99,605	-	98,338
Agosto	Días de lluvia	-	21	-	23
	Coef de inconsistencia (Ci)	-	0,011	-	0,005
	Coef de consistencia (Cc)	-	0,989	-	0,995
	Cc (%)	-	98,879	-	99,510
Septiembre	Días de lluvia	-	12	-	18
	Coef de inconsistencia (Ci)	-	0,001	-	0,008
	Coef de consistencia (Cc)	-	0,999	-	0,992
	Cc (%)	-	99,891	-	99,209

Continuación tabla 18. *Coefficientes de Inconsistencia y consistencia resultantes de la comparación de lluvia diaria entre la EMC Sevilla y la EMA Marengo*

Año		2018	2019	2020	2021
Octubre	Días de lluvia	22	21	-	18
	Coef de inconsistencia (Ci)	0,013	0,002	-	0,002
	Coef de consistencia (Cc)	0,987	0,998	-	0,998
	Cc (%)	98,670	99,811	-	99,802
Noviembre	Días de lluvia	19	21	-	21
	Coef de inconsistencia (Ci)	0,018	0,109	-	0,004
	Coef de consistencia (Cc)	0,982	0,891	-	0,996
	Cc (%)	98,189	89,104	-	99,634
Diciembre	Días de lluvia	12	21	-	17
	Coef de inconsistencia (Ci)	0,006	0,005	-	0,004
	Coef de consistencia (Cc)	0,994	0,995	-	0,996
	Cc (%)	99,438	99,481	-	99,619

En la tabla 18, se observa que en C_i está comprendido entre el 0.004 al 0.10, mientras que su complemento el C_c se extiende desde 73.8% al 99.6%, es decir, que para los años 2018, 2019, 2020 y 2021 existe una consistencia relativamente alta entre las mediciones simultaneas registrados por la estación convencional y la estación automática considerando que el valor máximo del C_c es 100%. En resumen, se evidencia que los registros de lluvia cumplen los lineamientos propuestos para la toma de datos de la OMM y al realizar la debida calibración y mantenimiento de equipos se puede sustituir el componente convencional por el instrumental automático.

series de temperatura

Prueba de rangos asignados de Wilcoxon

Al determinarse que los datos de temperatura no cumplen el requisito de normalidad se utiliza la prueba de Wilcoxon, se analiza la serie mes a mes. Se plantea la hipótesis así:

Ho: La distribución de las diferencias de las dos series tiene una distribución continua y simétrica a una mediana igual a cero

Ha: La distribución de las diferencias de las dos series tiene una distribución continua y simétrica a una mediana diferentes a cero.

En las tablas 19, 20, 21 y 22 se muestra los resultados de la prueba Wilcoxon para los años 2018 al 2021, la cual se encuentra discriminado mes a mes, donde se evidencia que para la variable de temperatura mínima la hipótesis nula si se cumple, sin embargo, para temperaturas máximas y horarios de 07:00, 13:00 y 19:00 no se cumple la hipótesis nula, lo que nos indica diferencias entre las series convencional y automática, ya que no presentan una distribución continua.

Tabla 19

Prueba de rangos Wilcoxon para la estación convencional vs automática en temperaturas max, min y tsecos año 2018

Prueba de rangos asignados de Wilcoxon										
Año	2018									
Meses	Mínima		Máxima		Tsecos					
					7:00		13:00		19:00	
	P-valúe	Ho	P-valúe	Ho	P-valúe	Ho	P-valúe	Ho	P-valúe	Ho
Enero	0,076	Cumple	5,825E-06	No cumple	0,00003935	No cumple	0,217	Cumple	0,445	Cumple
Febrero	0,708	Cumple	5,594E-06	No cumple	8,709E-06	No cumple	0,00018	No cumple	0,148	Cumple
Marzo	0,673	Cumple	5,834E-06	No cumple	2,648E-06	No cumple	0,1991	Cumple	0,001	No cumple
Abril	0,563	Cumple	0,0009173	No cumple	1,805E-06	No cumple	0,020	No cumple	0,064	Cumple
Mayo	0,992	Cumple	2,638E-06	No cumple	2,211E-06	No cumple	0,155	Cumple	0,115	Cumple
Junio	0,696	Cumple	0,00004766	No cumple	5,839E-06	No cumple	0,927	Cumple	0,076	Cumple
Julio	0,636	Cumple	2,985E-06	No cumple	1,04E-05	No cumple	0,076	Cumple	0,004	No cumple
Agosto	0,074	Cumple	5,78E-06	No cumple	0,00001601	No cumple	0,480	Cumple	0,036	No cumple
Septiembre	0,861	Cumple	0,00001235	No cumple	0,00003845	No cumple	0,002	No cumple	0,169	Cumple
Octubre	0,474	Cumple	6,456E-06	No cumple	1,89E-05	No cumple	0,027	No cumple	0,762	Cumple
Noviembre	0,996	Cumple	0,000003929	No cumple	0,0002061	No cumple	0,000023	No cumple	0,040	No cumple
Diciembre	0,663	Cumple	0,000005476	No cumple	5,278E-06	No cumple	0,0058	No cumple	0,003	No cumple

Nota. Se acepta el Ho por ser mayor la significación del estadístico de contraste alfa = 0.05. Fuente: IDEAM.

Tabla 20

Prueba de rangos Wilcoxon para la estación convencional vs automática en temperaturas max, min y tsecos año 2019

Prueba de rangos asignados de Wilcoxon										
Año	2019									
Meses	Mínima		Máxima		Tsecos					
					7:00		13:00		19:00	
	P-valúe	Ho	P-valúe	Ho	P-valúe	Ho	P-valúe	Ho	P-valúe	Ho
Enero	0,924	Cumple	0,00002259	No cumple	9,686E-06	No cumple	0,0029	No cumple	0,124	Cumple
Febrero	0,672	Cumple	7,736E-06	No cumple	0,00001304	No cumple	0,0435	No cumple	0,007	No cumple
Marzo	0,855	Cumple	1,795E-06	No cumple	1,809E-06	No cumple	0,0011	No cumple	0,247	Cumple
Abril	0,517	Cumple	0,0004857	No cumple	5,525E-06	No cumple	0,0139	No cumple	0,459	Cumple
Mayo	0,914	Cumple	3,106E-06	No cumple	3,901E-06	No cumple	0,0668	Cumple	1,0	Cumple
Junio	0,750	Cumple	0,0008634	No cumple	8,615E-06	No cumple	0,0219	No cumple	0,079	No cumple
Julio	0,108	Cumple	3,952E-06	No cumple	2,716E-06	No cumple	0,0017	No cumple	0,146	Cumple
Agosto	0,583	Cumple	0,0002551	No cumple	1,192E-06	No cumple	0,0001	No cumple	0,846	Cumple
Septiembre	0,374	Cumple	6,383E-06	No cumple	3,963E-06	No cumple	0,0020	No cumple	0,305	Cumple
Octubre	0,891	Cumple	5,87E-06	No cumple	0,00002201	No cumple	0,1064	cumple	0,537	Cumple
Noviembre	0,425	Cumple	0,00001866	No cumple	0,00002795	No cumple	0,0026	No cumple	1,0	Cumple
Diciembre	0,531	Cumple	3,912E-06	No cumple	0,000241	No cumple	0,0021	No cumple	0,871	Cumple

Nota: Se acepta el Ho por ser mayor la significación del estadístico de contraste alfa = 0.05. Fuente: IDEAM.

Tabla 21

Prueba de rangos Wilcoxon para la estación convencional vs automática en temperaturas Max, min y tsecos año 2020

Prueba de rangos asignados de Wilcoxon										
2020										
Año	Mínima		Máxima		Tsecos					
					7:00		13:00		19:00	
Meses	P-valúe	Ho	P-valúe	Ho	P-valúe	Ho	P-valúe	Ho	P-valúe	Ho
Enero	0.4187	Cumple	1,80E-06	No cumple	4,036E-06	No cumple	0.1384	Cumple	0.1869	Cumple
Febrero	0.3616	Cumple	0.0001849	No cumple	2,99E-06	No cumple	0.01061	No cumple	0.03816	No cumple
Marzo	0.001732	No cumple	8.6e-06	No cumple	1,30E-05	No cumple	0.02813	No cumple	0.0007033	No cumple
Abril	0.7264	Cumple	-	-	-	-	-	-	-	-

Nota: Se acepta el Ho por ser mayor la significación del estadístico de contraste alfa = 0.05.

Tabla 22

Prueba de rangos Wilcoxon para la estación convencional vs automática en temperaturas Max, min y tsecos año 2021

Prueba de rangos asignados de Wilcoxon										
2021										
Año	Mínima		Máxima		Tsecos					
					7:00:00 a, m,		1:00:00 p, m,		7:00:00 p, m,	
Meses	P-valúe	Ho	P-valúe	Ho	P-valúe	Ho	P-valúe	Ho	P-valúe	Ho
Mayo	0,148	Cumple	3,96E-06	No cumple	2,18E-05	No cumple	0,00005	No cumple	0,226	Cumple
Junio	0,345	Cumple	5,893E-06	No cumple	1,91E-05	No cumple	0,00057	No cumple	0,008	No cumple
Julio	0,102	Cumple	3,42E-04	No cumple	2,22E-06	No cumple	0,00028	No cumple	0,029	No cumple
Agosto	0,843	Cumple	1,766E-06	No cumple	2,68E-06	No cumple	2,415E-06	No cumple	0,092	Cumple
Septiembre	0,220	Cumple	3,94E-06	No cumple	6,64E-06	No cumple	0,00025	No cumple	0,348	Cumple
Octubre	0,408	Cumple	2,66E-06	No cumple	0,00001	No cumple	0,00165	No cumple	0,019	No cumple
Noviembre	0,351	Cumple	8,68E-06	No cumple	0,00023	No cumple	0,03686	No cumple	0,001	No cumple
Diciembre	0,289	Cumple	3,83E-06	No cumple	0,00001	No cumple	0,00001	No cumple	0,047	No cumple

Nota. Se acepta el Ho por ser mayor la significación del estadístico de contraste alfa = 0.05. Fuente: IDEAM.

Pruebas de comparación de distribución Kolmogorow- Smirnow

Ho: No hay diferencias entre la distribución de las series de la estación automática y convencional en las variables de temperaturas (mínima, máxima, horario 7:00, 13:00 y 19:00)

Ha: Hay diferencias significativas en la distribución de las series de la estación automática y convencional en las variables temperaturas (mínima, máxima, horario 7:00, 13:00 y 19:00).

Se realizó la prueba de comparación de distribución Kolmogorow-Smirnow mes a mes entre el año 2018 y 2021, en las tablas 23, 24, 25 y 26 se encuentra los resultados obtenidos y si se cumple o no los supuestos establecidos.

En la temperatura mínima se acepta la hipótesis nula por ser mayor la significación del estadístico de contraste establecido $\alpha=0.05$, de igual forma ocurre con la temperatura a las 13:00 y 19:00 horas, este resultado es común para todos los años analizados. La temperatura máxima y la lectura a las 7:00 horas no cumple con el supuesto, lo que indica que hay diferencias significativas en la distribución de las series y por lo tanto no pasa la prueba de Kolmogorow.

Tabla 23

Comparación distribución Kolmogorow- Smirnow para la estación convencional vs automática del año 2018

Pruebas de comparación de distribución Kolmogorow- Smirnow										
Año	2019									
Meses	Mínima		Máxima		Tsecos					
	P-valúe	Ho	P-valúe	Ho	7:00		13:00		19:00	
	P-valúe	Ho	P-valúe	Ho	P-valúe	Ho	P-valúe	Ho	P-valúe	Ho
Enero	0,346	Cumple	0,04926	No cumple	2,37E-01	Cumple	0,959	Cumple	0,815	Cumple
Febrero	1	Cumple	3,24E-01	Cumple	0,04926	No cumple	0,541	Cumple	0,996	Cumple
Marzo	0,953	Cumple	3,24E-01	Cumple	1,34E-01	Cumple	0,607	Cumple	0,408	Cumple
Abril	0,996	Cumple	0,3877	Cumple	3,94E-04	No cumple	0,134	Cumple	0,586	Cumple
Mayo	0,959	Cumple	3,67E-01	Cumple	7,94E-02	Cumple	0,815	Cumple	0,607	Cumple
Junio	0,996	Cumple	0,1224	Cumple	2,32E-03	No cumple	0,799	Cumple	0,586	Cumple
Julio	0,518	Cumple	3,88E-01	Cumple	5,89E-03	No cumple	0,799	Cumple	0,586	Cumple
Agosto	0,649	Cumple	0,09956	Cumple	9,66E-03	No cumple	0,959	Cumple	0,675	Cumple
Septiembre	0,987	Cumple	1,71E-01	Cumple	6,30E-03	No cumple	0,220	Cumple	0,586	Cumple
Octubre	0,946	Cumple	9,96E-02	Cumple	0,01581	No cumple	0,253	Cumple	0,998	Cumple
Noviembre	0,996	Cumple	0,001824	No cumple	0,05623	Cumple	0,003	No cumple	0,388	Cumple
Diciembre	1	Cumple	1,40E-02	No cumple	0,07134	Cumple	0,079	Cumple	0,607	Cumple

Nota: Se acepta el Ho por ser mayor la significación del estadístico de contraste alfa = 0.05. Fuente: IDEAM.

Tabla 24

Comparación distribución Kolmogorow- Smirnow para la estación convencional vs automática del año 2019

Pruebas de comparación de distribución Kolmogorow- Smirnow										
Año	2019									
Meses	Mínima		Máxima		Tsecos					
	P-valúe	Ho	P-valúe	Ho	7:00		13:00		19:00	
	P-valúe	Ho	P-valúe	Ho	P-valúe	Ho	P-valúe	Ho	P-valúe	Ho
Enero	0,983	Cumple	0,2532	Cumple	1,41E-03	No cumple	0,253	Cumple	0,079	Cumple
Febrero	0,893	Cumple	1,87E-01	Cumple	0,0007873	No cumple	0,541	Cumple	0,111	Cumple
Marzo	0,959	Cumple	8,58E-03	No cumple	1,41E-03	No cumple	0,408	Cumple	0,959	Cumple
Abril	0,928	Cumple	0,586	Cumple	4,78E-03	No cumple	0,071	Cumple	0,953	Cumple
Mayo	0,928	Cumple	2,37E-01	Cumple	6,47E-04	No cumple	0,607	Cumple	0,959	Cumple
Junio	0,946	Cumple	0,1389	Cumple	4,49E-05	No cumple	0,388	Cumple	0,586	Cumple
Julio	0,998	Cumple	2,66E-02	No cumple	4,08E-05	No cumple	0,253	Cumple	0,999	Cumple
Agosto	0,999	Cumple	0,2532	Cumple	7,94E-02	Cumple	0,607	Cumple	0,959	Cumple
Septiembre	0,996	Cumple	1,17E-02	No cumple	6,47E-04	No cumple	0,220	Cumple	0,998	Cumple
Octubre	0,346	Cumple	9,66E-03	No cumple	0,0996	Cumple	0,147	Cumple	0,999	Cumple
Noviembre	0,997	Cumple	0,03543	No cumple	0,139	Cumple	0,134	Cumple	0,953	Cumple
Diciembre	0,782	Cumple	1,89E-02	No cumple	0,237	Cumple	0,071	Cumple	0,586	Cumple

Nota: Se acepta el Ho por ser mayor la significación del estadístico de contraste alfa = 0.05. Fuente: IDEAM.

Tabla 25

Comparación distribución Kolmogorow- Smirnow para la estación convencional vs automática del año 2020

Pruebas de comparación de distribución Kolmogorow- Smirnow										
Año		2020								
Meses	Mínima		Máxima		Tsecos					
					7:00		13:00		19:00	
	P-valúe	Ho	P-valúe	Ho	P-valúe	Ho	P-valúe	Ho	P-valúe	Ho
Enero	0,998	Cumple	0,0004	No cumple	1,34E-01	Cumple	0,586	Cumple	0,607	Cumple
Febrero	1,0	Cumple	2,66E-02	No cumple	0,014	No cumple	0,031	No cumple	0,122	Cumple
Marzo	1,0	Cumple	1,91E-02	No cumple	7,87E-03	No cumple	0,607	Cumple	0,408	Cumple
Abril	0,879	Cumple	-	-	-	-	-	-	-	-

Nota: Se acepta el Ho por ser mayor la significación del estadístico de contraste alfa = 0.05. Fuente: IDEAM.

Tabla 26

Comparación distribución Kolmogorow- Smirnow para la estación convencional vs automática del año 2021

Pruebas de comparación de distribución Kolmogorow- Smirnow										
Año		2021								
Meses	Mínima		Máxima		Tsecos					
					7:00		13:00		19:00	
	P-valúe	Ho	P-valúe	Ho	P-valúe	Ho	P-valúe	Ho	P-valúe	Ho
Mayo	0,744	Cumple	6,58E-05	No cumple	1,75E-03	No cumple	0,016	No cumple	0,959	Cumple
Junio	0,994	Cumple	0,001407	No cumple	4,96E-03	No cumple	0,043	No cumple	0,586	Cumple
Julio	0,918	Cumple	7,15E-03	No cumple	4,08E-05	No cumple	0,009	No cumple	0,607	Cumple
Agosto	0,938	Cumple	0,0004	No cumple	4,08E-05	No cumple	0,003	No cumple	0,799	Cumple
Septiembre	0,925	Cumple	4,78E-03	No cumple	4,81E-04	No cumple	0,049	No cumple	0,953	Cumple
Octubre	0,992	Cumple	5,89E-03	No cumple	0,003	No cumple	0,134	Cumple	0,815	Cumple
Noviembre	0,744	Cumple	0,003	No cumple	0,006	No cumple	0,367	Cumple	0,071	Cumple
Diciembre	0,995	Cumple	6,58E-05	No cumple	0,001	No cumple	0,003	No cumple	0,607	Cumple

Coeficiente de correlación de Spearman

Hipótesis nula Ho: estima que los datos de temperatura (mínima, máxima, horarios 7:00, 13:00 y 19:00) de la estación automática son independientes e idénticamente distribuidos.

Hipótesis alterna Ha: Estima que los datos los datos de temperatura (mínima, máxima, horarios 7:00, 13:00 y 19:00) de la estación automática aumentan o disminuyen con los datos convencionales.

Para el análisis de este coeficiente en las variables de temperatura comparadas con las series automáticas y convencionales se analizaron de forma mensual para los años comprendidos entre 2018 y 2021, en las tablas 26, 27, 28 y 29 se muestran los resultados de esta prueba.

Tabla 27

Correlación de Spearman variable temperatura mínima estación convencional vs automática de los años 2018 al 2021

Variable	Pruebas de Correlación de Spearman								
	Meses	2018		2019		2020		2021	
		R	P-valúe	R	P-valúe	R	P-valúe	R	P-valúe
Mínima	Enero	0,797	3,93E-07	0,655	1,26E-03	0,917	1,16E-12	-	-
	Febrero	0,937	6,913E-13	0,647	6,37E-04	0,874	5,65E-09	-	-
	Marzo	0,879	1,54E-10	0,828	8,83E-09	0,920	1,37E-09	-	-
	Abril	0,685	8,03E-05	0,718	7,93E-06	0,604	0,028	-	-
	Mayo	0,592	0,0004	0,717	2,56E-05	-	-	0,794	7,512E-07
	Junio	0,892	4,191E-10	0,746	3,34E-06	-	-	0,932	1,197E-11
	Julio	0,855	1,348E-08	0,830	1,38E-08	-	-	0,964	2,46E-12
	Agosto	0,702	0,0002	0,874	1,36E-10	-	-	0,894	1,50E-10
	Septiembre	0,702	0,0003	0,886	7,58E-10	-	-	0,909	2,62E-06
	Octubre	0,871	7,98E-10	0,642	0,0002269	-	-	0,923	1,30E-10
	Noviembre	0,869	4,208E-09	0,907	2,78E-11	-	-	0,757	4,922E-06
	Diciembre	0,901	1,48E-10	0,830	2,554E-08	-	-	0,863	1,41E-08

En la tabla 27 se muestra los resultados de la correlación de Spearman para la variable de temperatura mínima, en ella se muestra un valor de R que oscila entre 0.6 y 0.9, mostrando que para los primeros meses comprendidos entre enero, febrero, marzo, abril y mayo el R es

más bajo comparado con los demás del año. El año 2019 es donde se presentan valores bajos de 0.6, mientras que el año 2021 es el que presenta un mejor coeficiente de correlación de los datos.

Tabla 28

Correlación de Spearman variable temperatura máxima estación convencional vs automática de los años 2018 al 2021

Variable	Pruebas de Correlación de Spearman								
	Meses	2018		2019		2020		2021	
		R	P-valúe	R	P-valúe	R	P-valúe	R	P-valúe
Máxima	Enero	0,958	4,60E-15	0,878	8,96E-11	0,796	1,44E-07	-	-
	Febrero	0,927	3,569E-12	0,954	1,34E-14	0,974	2,20E-16	-	-
	Marzo	0,986	2,20E-16	0,909	1,62E-12	0,940	1,05E-09	-	-
	Abril	0,934	5,156E-14	0,800	1,15E-07	-	-	-	-
	Mayo	0,973	2,20E-16	0,929	1,43E-13	-	-	0,876	9,75E-10
	Junio	0,867	1,182E-09	0,890	5,61E-09	-	-	0,932	1,70E-12
	Julio	0,899	1,554E-11	0,890	2,432E-10	-	-	0,803	9,55E-08
	Agosto	0,916	2,215E-11	0,656	6,14E-05	-	-	0,962	2,20E-16
	Septiembre	0,961	7,223E-15	0,890	2,44E-07	-	-	0,944	5,14E-14
	Octubre	0,947	7,93E-14	0,896	2,59E-10	-	-	0,936	8,60E-14
	Noviembre	0,896	1,098E-10	0,901	1,09E-11	-	-	0,959	1,273E-14
	Diciembre	0,870	8,52E-10	0,866	2,539E-09	-	-	0,963	2,45E-16

En la tabla 28 se observa los resultados de la prueba de correlación de Spearman para la variable de temperatura máxima, en la cual a diferencia de la variable de temperatura mínima el año 2018 es donde se observa un mejor coeficiente de correlación de los datos de la estación automática y convencional con valores que oscilan entre 0.87 y 0.96, mientras que para el año 2019 se registra el valor más bajo en el mes de agosto con un R = 0.66.

Tabla 29

Correlación de Spearman variable temperatura horaria 7:00, 13:00 y 19:00 estación convencional vs automática de los años 2018 al 2021

Pruebas de Correlación de Spearman												
Meses	07:00 horas				13:00 horas				19:00 horas			
	2018	2019	2020	2021	2018	2019	2020	2021	2018	2019	2020	2021
	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
Enero	0,852	0,468	0,707		0,781	0,731	0,536		0,715	0,519	0,768	
Febrero	0,823	0,471	0,784		0,845	0,826	0,743		0,923	0,701	0,804	
Marzo	0,814	0,753	0,712		0,663	0,884	0,756		0,764	0,860	0,767	
Abril	0,501	0,825			0,642	0,507			0,585	0,819		
Mayo	0,871	0,667		0,667	0,688	0,881		0,789	0,732	0,872		0,934
Junio	0,637	0,552		0,656	0,741	0,658		0,839	0,651	0,766		0,902
Julio	0,562	0,666		0,522	0,637	0,634		0,844	0,742	0,836		0,857
Agosto	0,784	0,893		0,521	0,727	0,930		0,798	0,844	0,857		0,925
Septiembre	0,698	0,552		0,621	0,598	0,855		0,819	0,722	0,634		0,770
Octubre	0,826	0,830		0,795	0,547	0,500		0,731	0,659	0,723		0,705
Noviembre	0,877	0,834		0,279	0,709	0,552		0,583	0,699	0,670		0,737
Diciembre	0,851	0,829		0,710	0,338	0,406		0,764	0,814	0,521		0,564

En la tabla 29 se muestra el valor R de Spearman horario para los años 2018 a 2021 notándose que para las 7:00 horas se observa que los valores oscilan entre 0.23 y 0.89, registrándose que para el año 2021 presenta la correlación más baja con un valor de 0.28 para el mes de noviembre, el valor promedio de R para esta hora es de 0.7. Para las 13:00 la correlación promedio es de 0.7, registrando que el año 2018 es el que posee la correlación más baja respecto a los demás con valores que oscilan entre 0.33 y 0.84. En las 19:00 horas la correlación mejora un poco respecto a las demás con un valor de 0.76, los rangos mensuales oscilan entre 0.52 y 0.93. En cuanto al comportamiento de las temperaturas se evidencia para el año 2021 tanto para las lecturas de las 13:00 y 19:00 horas el valor de R es más alto, a diferencia de las 7:00 horas el cual se registra en 2018. Mensualmente se observa que las correlaciones más altas se observan en junio, julio y agosto.

Comparando las variables de temperatura con los resultados obtenidos en Spearman se evidencia que la temperatura máxima en promedio presenta la correlación más alta con un valor de 0.91 y para la temperatura mínima es de 0.82, mientras que para las temperaturas horarias existe un factor de error debido a que en la toma de las 3 lecturas diarias el observador tiene un lapso de media hora antes o después para la toma del dato, mientras que en la automática este valor es instantáneo por lo cual difieren fácilmente entre sí.

Coeficiente de inconsistencia y consistencia

Para el análisis del coeficiente de inconsistencia y consistencia de Colotti et al. (2003) se realizó comparaciones mes a mes desde 2018 al 2021 en las variables de temperatura mínima, máxima y horaria 07:00, 13:00 y 19:00 horas.

Tabla 30

Coefficientes de Inconsistencia y consistencia resultantes de la comparación de temperatura máxima y mínima diaria entre la

EMC Sevilla y la EMA Marengo

Meses		Mínima				Máxima			
		2018	2019	2020	2021	2018	2019	2020	2021
Enero	Días de temperatura	28	21	30	-	27	31	30	-
	Coef de inconsistencia (Ci)	0,126	0,134	0,036	-	0,039	0,064	0,099	-
	Coef de consistencia (Cc)	0,874	0,866	0,964	-	0,961	0,936	0,901	-
	Cc (%)	87,4	86,6	96,4	-	96,1	93,6	90,1	-
Febrero	Días de temperatura	27	24	26	-	27	27	28	-
	Coef de inconsistencia (Ci)	0,033	0,193	0,075	-	0,033	0,013	0,012	-
	Coef de consistencia (Cc)	0,967	0,807	0,925	-	0,967	0,987	0,988	-
	Cc (%)	96,7	80,7	92,5	-	96,7	98,7	98,8	-
Marzo	Días de temperatura	30	31	22	-	27	31	26	-
	Coef de inconsistencia (Ci)	0,107	0,532	0,081	-	0,012	0,051	0,055	-
	Coef de consistencia (Cc)	0,893	0,468	0,919	-	0,988	0,949	0,945	-
	Cc (%)	89,3	46,8	91,9	-	98,8	94,9	94,5	-
Abril	Días de temperatura	27	30	13	-	30	30	-	-
	Coef de inconsistencia (Ci)	0,225	0,127	0,083	-	0,083	0,067	-	-
	Coef de consistencia (Cc)	0,775	0,873	0,917	-	0,917	0,933	-	-
	Cc (%)	77,5	87,3	91,7	-	91,7	93,3	-	-
Mayo	Días de temperatura	31	27	-	27	29	30	-	28
	Coef de inconsistencia (Ci)	0,231	0,297	-	0,115	0,015	0,047	-	0,080
	Coef de consistencia (Cc)	0,769	0,703	-	0,885	0,985	0,953	-	0,920
	Cc (%)	76,9	70,3	-	88,5	98,5	95,3	-	92,0
Junio	Días de temperatura	27	29	-	25	29	24	-	27
	Coef de inconsistencia (Ci)	0,060	0,126	-	0,026	0,116	0,082	-	0,052
	Coef de consistencia (Cc)	0,940	0,874	-	0,974	0,884	0,918	-	0,948
	Cc (%)	94,0	87,4	-	97,4	88,4	91,8	-	94,8

Fuente: EMC Sevilla - EMA Marengo

Continuación tabla 30

Coefficientes de Inconsistencia y consistencia resultantes de la comparación de temperatura máxima y mínima diaria entre la EMC Sevilla y la EMA Marengo

Meses		Mínima				Máxima			
		2018	2019	2020	2021	2018	2019	2020	2021
Julio	Días de temperatura	27	30	-	26	30	28	-	30
	Coef de inconsistencia (Ci)	0,103	0,069	-	0,007	0,090	0,091	-	0,088
	Coef de consistencia (Cc)	0,897	0,931	-	0,993	0,910	0,909	-	0,912
	Cc (%)	89,7	93,1	-	99,3	91,0	90,9	-	91,2
Agosto	Días de temperatura	23	31	-	28	27	31	-	30
	Coef de inconsistencia (Ci)	0,167	0,063	-	0,117	0,063	0,178	-	0,027
	Coef de consistencia (Cc)	0,833	0,937	-	0,883	0,937	0,822	-	0,973
	Cc (%)	83,3	93,7	-	88,3	93,7	82,2	-	97,3
Septiembre	Días de temperatura	22	27	-	15	26	28	-	28
	Coef de inconsistencia (Ci)	0,155	0,045	-	0,095	0,036	0,034	-	0,032
	Coef de consistencia (Cc)	0,845	0,955	-	0,905	0,964	0,966	-	0,968
	Cc (%)	84,5	95,5	-	90,5	96,4	96,6	-	96,8
Octubre	Días de temperatura	29	28	-	24	27	27	-	29
	Coef de inconsistencia (Ci)	0,086	0,140	-	0,062	0,038	0,067	-	0,042
	Coef de consistencia (Cc)	0,914	0,860	-	0,938	0,962	0,933	-	0,958
	Cc (%)	91,4	86,0	-	93,8	96,2	93,3	-	95,8
Noviembre	Días de temperatura	27	28	-	27	28	30	-	26
	Coef de inconsistencia (Ci)	0,054	0,063	-	0,152	0,041	0,074	-	0,031
	Coef de consistencia (Cc)	0,946	0,937	-	0,848	0,959	0,926	-	0,969
	Cc (%)	94,6	93,7	-	84,8	95,9	92,6	-	96,9
Diciembre	Días de temperatura	27	29	-	26	29	28	-	28
	Coef de inconsistencia (Ci)	0,050	0,050	-	0,055	0,091	0,081	-	0,031
	Coef de consistencia (Cc)	0,950	0,950	-	0,945	0,909	0,919	-	0,969
	Cc (%)	95,0	95,0	-	94,5	90,9	91,9	-	96,9

Fuente: EMC Sevilla - EMA Marengo

En la tabla 30 se observa el coeficiente de inconsistencia y consistencia en las variables de las variables de mínima y máxima. Se observa que para la variable de mínima el coeficiente de inconsistencia C_i está comprendido entre el 0.007 y 0.532 mientras que su complemento el C_c se extiende desde 46.8% al 91.3%, es decir, que para los años 2018, 2020 y 2021 existe una consistencia relativamente alta entre las mediciones simultaneas registrados por la estación convencional y la estación automática considerando que el valor máximo del C_c es 100%, a excepción del año 2019 donde se muestra un porcentaje de 46.8% siendo un valor bajo respecto a los demás coeficientes. Para la temperatura máxima el coeficiente de inconsistencia C_i varia de 0.012 a 0.178, su complemento el C_c se extiende desde 82.2% al 91.2%, indicando que la consistencia de la temperatura máxima es mayor ya que registra un porcentaje mayor al 80%.

En las temperaturas horarias el coeficiente de inconsistencia comparado con las temperaturas mínimas y máximas es mayor, se observa que en la tabla 31 para las 07:00 horas en el año 2021 se registra el coeficiente de inconsistencia más alto con valores que varían entre 0.154 y 0.675 y con una consistencia en las mediciones relativamente baja de 63.9%. para las 13:00 horas se observa que el coeficiente de inconsistencia más alto se representa en el año 2020 con valores que oscilan entre 0.089 y 0.359 y su complemento de consistencia de 78.2%, mientras que para las 19 horas se observa que la consistencia de los datos es más alta respecto a las demás horas con valores 85.2% y 90.0%.

Tabla 31

Coefficientes de Inconsistencia y consistencia resultantes de la comparación de temperatura máxima y mínima diaria entre la EMC Sevilla y la EMA Marengo

Año		07:00 horas				13:00 horas				19:00 horas			
		2018	2019	2020	2021	2018	2019	2020	2021	2018	2019	2020	2021
Enero	Días de temperatura	30	27	30	-	31	31	30	-	31	31	31	-
	Coef de inconsistencia (Ci)	0,134	0,436	0,245	-	0,094	0,214	0,208	-	0,118	0,262	0,120	-
	Coef de consistencia (Cc)	0,866	0,564	0,755	-	0,906	0,786	0,792	-	0,882	0,738	0,880	-
	Cc (%)	86,6	56,4	75,5	-	90,6	78,6	79,2	-	88,2	73,8	88,0	-
Febrero	Días de temperatura	27	25	29	-	28	28	29	-	27	28	29	-
	Coef de inconsistencia (Ci)	0,247	0,400	0,224	-	0,092	0,077	0,089	-	0,057	0,080	0,050	-
	Coef de consistencia (Cc)	0,753	0,600	0,776	-	0,908	0,923	0,911	-	0,943	0,920	0,950	-
	Cc (%)	75,3	60,0	77,6	-	90,8	92,3	91,1	-	94,3	92,0	95,0	-
Marzo	Días de temperatura	30	31	26	-	31	31	31	-	31	31	31	-
	Coef de inconsistencia (Ci)	0,157	0,201	0,275	-	0,201	0,064	0,359	-	0,181	0,080	0,151	-
	Coef de consistencia (Cc)	0,843	0,799	0,725	-	0,799	0,936	0,641	-	0,819	0,920	0,849	-
	Cc (%)	84,3	79,9	72,5	-	79,9	93,6	64,1	-	81,9	92,0	84,9	-
Abril	Días de temperatura	30	28	-	-	30	30	-	-	30	30	-	-
	Coef de inconsistencia (Ci)	0,213	0,115	-	-	0,182	0,181	-	-	0,186	0,093	-	-
	Coef de consistencia (Cc)	0,787	0,885	-	-	0,818	0,819	-	-	0,814	0,907	-	-
	Cc (%)	78,7	88,5	-	-	81,8	81,9	-	-	81,4	90,7	-	-
Mayo	Días de temperatura	31	28	-	24	31	31	-	30	31	31	-	31
	Coef de inconsistencia (Ci)	0,130	0,599	-	0,262	0,148	0,075	-	0,111	0,075	0,049	-	0,043
	Coef de consistencia (Cc)	0,870	0,401	-	0,738	0,852	0,925	-	0,889	0,925	0,951	-	0,957
	Cc (%)	87,0	40,1	-	73,8	85,2	92,5	-	88,9	92,5	95,1	-	95,7
Junio	Días de temperatura	29	27	-	24	30	30	-	26	30	30	-	30
	Coef de inconsistencia (Ci)	0,326	0,309	-	0,440	0,135	0,180	-	0,070	0,258	0,098	-	0,063
	Coef de consistencia (Cc)	0,674	0,691	-	0,560	0,865	0,820	-	0,930	0,742	0,902	-	0,937
	Cc (%)	67,4	69,1	-	56,0	86,5	82,0	-	93,0	74,2	90,2	-	93,7

Fuente: EMC Sevilla - EMA Marengo

Continuación tabla 31

Coefficientes de Inconsistencia y consistencia resultantes de la comparación de temperatura máxima y mínima diaria entre la EMC Sevilla y la EMA Marengo

Año		07:00 horas				13:00 horas				19:00 horas			
		2018	2019	2020	2021	2018	2019	2020	2021	2018	2019	2020	2021
Julio	Días de temperatura	29	30	-	30	30	31	-	31	30	31	-	31
	Coef de inconsistencia (Ci)	0,537	0,356	-	0,333	0,141	0,185	-	0,102	0,151	0,114	-	0,081
	Coef de consistencia (Cc)	0,463	0,644	-	0,667	0,859	0,815	-	0,898	0,849	0,886	-	0,919
	Cc (%)	46,3	64,4	-	66,7	85,9	81,5	-	89,8	84,9	88,6	-	91,9
Agosto	Días de temperatura	27	31	-	30	31	31	-	30	24	31	-	30
	Coef de inconsistencia (Ci)	0,133	0,119	-	0,480	0,120	0,045	-	0,129	0,108	0,039	-	0,043
	Coef de consistencia (Cc)	0,867	0,881	-	0,520	0,880	0,955	-	0,871	0,892	0,961	-	0,957
	Cc (%)	86,7	88,1	-	52,0	88,0	95,5	-	87,1	89,2	96,1	-	95,7
Septiembre	Días de temperatura	25	28	-	27	29	29	-	27	30	30	-	30
	Coef de inconsistencia (Ci)	0,228	0,389	-	0,342	0,212	0,053	-	0,115	0,103	0,184	-	0,094
	Coef de consistencia (Cc)	0,772	0,611	-	0,658	0,788	0,947	-	0,885	0,897	0,816	-	0,906
	Cc (%)	77,2	61,1	-	65,8	78,8	94,7	-	88,5	89,7	81,6	-	90,6
Octubre	Días de temperatura	25	27	-	26	31	31	-	30	30	31	-	31
	Coef de inconsistencia (Ci)	0,196	0,124	-	0,154	0,205	0,212	-	0,153	0,221	0,171	-	0,127
	Coef de consistencia (Cc)	0,804	0,876	-	0,846	0,795	0,788	-	0,847	0,779	0,829	-	0,873
	Cc (%)	80,4	87,6	-	84,6	79,5	78,8	-	84,7	77,9	82,9	-	87,3
Noviembre	Días de temperatura	28	24	-	21	30	30	-	29	30	30	-	30
	Coef de inconsistencia (Ci)	0,049	0,144	-	0,675	0,297	0,244	-	0,198	0,140	0,184	-	0,162
	Coef de consistencia (Cc)	0,951	0,856	-	0,325	0,703	0,756	-	0,802	0,860	0,816	-	0,838
	Cc (%)	95,1	85,6	-	32,5	70,3	75,6	-	80,2	86,0	81,6	-	83,8
Diciembre	Días de temperatura	30	23	-	27	31	30	-	30	31	30	-	31
	Coef de inconsistencia (Ci)	0,188	0,117	-	0,203	0,278	0,449	-	0,141	0,180	0,235	-	0,187
	Coef de consistencia (Cc)	0,812	0,883	-	0,797	0,722	0,551	-	0,859	0,820	0,765	-	0,813
	Cc (%)	81,2	88,3	-	79,7	72,2	55,1	-	85,9	82,0	76,5	-	81,3

Fuente: EMC Sevilla - EMA Marengo

9.3 Validación serie de precipitación y temperatura de la estación automática

Marengo.

Para validar las series de precipitación y temperatura de la estación automática de marengo se seleccionaron los años de 2019 a 2021 debido a que 2018 en precipitación fue un año con pocos días y varios de ellos atípicos por la falla del sensor del pluviómetro. De acuerdo a la fase 4 de la metodología para la variable precipitación se aplicará validación de la estructura de los datos y según los límites del sensor. Con la primera validación se encontró que la cantidad de datos del año 2020 eran mínimos por lo cual se seleccionó 2019 y 2021.

Con la segunda validación se tuvo en cuenta el rango del sensor de precipitación tabla 3 de las cuales se identificaron 4 datos diez minútales que sobrepasaban el rango del sensor que va de 0 a 7.33 mm (tabla 34), de los cuales se eliminaron de la serie la totalidad del dato del día 04 y 12 de mayo de 2019 y el día 11 de diciembre de 2021.

Tabla 32

Datos diez minútales que sobrepasan el rango del sensor Mac Van Instrument de precipitación estación Marengo año 2019 y 2021

Fecha	Precipitación (mm)
2019-05-04 15:20	8
2019-05-12 15:30	8,8
2019-05-12 15:40	13,1
2021-12-11 14:10	9,2

Fuente: *estación Marengo año 2019 y 2021*

Para las variables de temperatura se aplicaron la totalidad de test de validación mencionados en la fase 4 etapa 1 así:

- A. Validación del registro de datos
- B. Validación de los límites del sensor
- C. Test de límites climatológicos
- D. Test de salto horario
- E. Validación de rango variable

En la validación A y B de la misma forma que en la variable precipitación por cantidad de datos se decidió tomar el año 2019 y 2021, ya en los límites del sensor al ser un rango tan amplio que varía desde -39.9 °C y 84.9°C no se encontró ningún dato atípico.

Para los límites climatológicos se tomaron los valores mínimos mínimos de 9.6°C y máximos máximos de 32.5°C (tabla 4), asimismo tampoco se identificó algún dato que sobrepasara este rango.

De acuerdo a la guía de observación de la OMM (2017) al colocar este filtro con un límite de la diferencia horaria de 3°C y 10°C en las temperaturas horarias se identificaron saltos bastante amplios de 5°C y 6°C los cuales se analizaron uno a uno teniendo en cuenta los datos de precipitación para determinar qué datos se rechazan de la serie.

En la validación de rango variable se utilizó el test de caja box-plot (figura 26) en ella se puede observar los datos mensuales del año 2019 al 2021, observándose un dato atípico para el mes de mayo de 31.3 °C.

Utilizando el R-Studio se identifican los límites superiores e inferiores mediante la siguiente ecuación:

$$LI_s = Q3 + 1.5 * (Q3 - Q1)$$

$$LI_s = 23.3 + 1.5 * (23.3 - 17.7)$$

$$LI_s = 31.7$$

$$LI_i = Q1 - 1.5 * (Q3 - Q1)$$

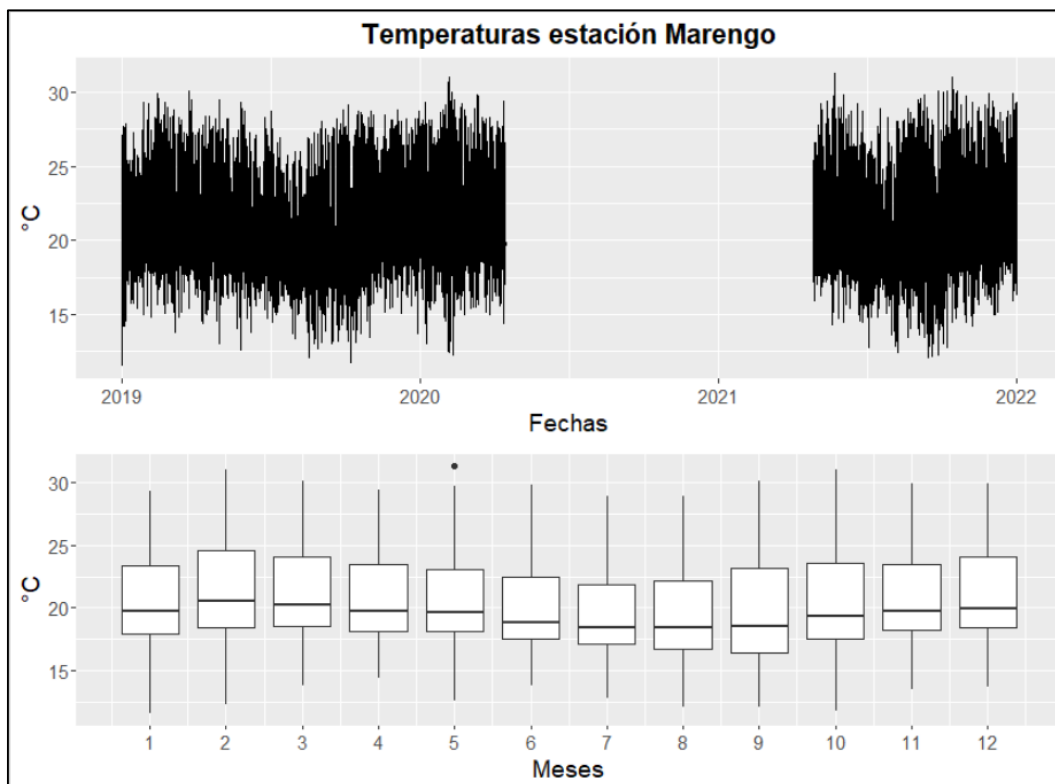
$$LI_i = 17.7 - 1.5 * (23.3 - 17.7)$$

$$LI_i = 9.3$$

Los valores que se encuentren fuera de estos límites (9.3°C y 31.7°C) se consideraran erróneos, de los cuales a pesar de que ese valor es atípico para el mes de mayo no se considera atípico para los límites establecidos con este test.

Figura 26

Caja Box-plot temperaturas horarias estación automática de Marengo



Nota: box plot estación marengo. Fuente: IDEAM.

Con los datos validados se procede a comparar los datos con la convencional si corresponden a los mismos días para realizar nuevamente las pruebas de Wicolxon, Spearman, Kolmogorow, inconsistencia e inconsistencia y se encontró que los días que se eliminaron de la serie al ser datos erróneos no quedaron en la comparación inicial ni para las series de temperatura y precipitación. Por lo tanto, se anexan las series validadas con los test mencionados.

10. Conclusiones y recomendaciones

La temperatura máxima fue la variable donde los datos son más semejantes entre ambas estaciones, EMA y EMC, para todo el periodo 2018 A 2021, seguida de la variable temperatura mínima. En las temperaturas horarias hay diferencias significativas debido a la naturaleza de la toma del sensor, al ser puntual. Es decir, el sensor toma el dato puntual a las 00 de la hora indicada. Por esta razón hay variaciones entre la toma del dato del observador que tiene un lapso de tiempo de media hora antes o después de la hora para la toma del mismo.

La variable de precipitación presento una consistencia en las mediciones relativamente alta se evidencia que los registros de lluvia cumplen los lineamientos propuestos para la toma de datos de la OMM, por lo cual al realizarse el debido mantenimiento y limpieza del pluviómetro es la variable de la cual se puede iniciar a sustituir el componente convencional por el instrumental automático y unificarse en la serie histórica.

La falla en el funcionamiento de los equipos automáticos ocasiona perdida en la colecta de los datos, así como un dato mal medido por un sensor al que no se le realiza mantenimiento es un dato que en principio puede no ser representativo pero a la larga para su aplicación va a ser dudosa, por esta razón se deben seguir los lineamientos de la OMM a la hora de realizar las visitas a las EMA el cual recomienda realizar al menos dos visitas de inspección por año, el cual en los dos últimos años en el IDEAM no se han realizado a cabalidad por temas presupuestales y por la pandemia del COVID-19.

La acumulación de residuos en el embudo del pluviómetro automático obstruye el correcto ingreso de agua interfiriendo con la medición ya sea por pérdida de la precipitación o el agua diluye los residuos tiempo después de ocurrida la lluvia y se mide la acumulación en un instante distinto al que ocurrió, por esta razón se recomienda instruir al observador voluntario para la limpieza del embudo, rendija o balancín para evitar que la presencia de residuos que pueda obstaculizar una futura medición de precipitación.

El análisis de los datos de las estaciones automáticas EMA permite identificar errores y gestionar el reemplazo o calibraron de los elementos que fallan, lo que permite que aumente la eficiencia en el uso de los recursos y disminuye el tiempo de respuesta en la reparación permitiendo que se puedan contar con series completas de datos de las variables medidas (temperatura, precipitación, humedad relativa, velocidad y dirección del viento, entre otros) que son de insumo para la toma de decisiones y responden a un gran número de necesidades para las aplicaciones e investigaciones sobre el clima.

Se recomienda a los temáticos del IDEAM que los datos horarios sean tomados de la misma forma como se toman los datos de mínima y máxima, tomar datos cada 10 minutos y de esos datos dar el promediado de la hora para evitar las diferencias presentadas al ser puntual y con ella contar con un dato más consistente de forma horaria.

11.0 Referencias bibliográficas

Agricultura y seguridad alimentaria. (18 de noviembre de 2021). En IDEAM.
<http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/agricultura-y-seguridad-alimentaria>.

Alencar da Silva Alves, K., & Silva Nóbrega, R. (2017). Tendencia pluviométrica y concentración estacional de precipitación en la cuenca hidrográfica del río Moxotó – Pernamcuco – Brasil. *Revista Geográfica De América Central*, 1(58), 295 - 313.
<https://doi.org/10.15359/rgac.58-1.12>.

Álzate, D., & Rojas, E., & Mosquera, J., & Ramón, J. (2015). cambio climático y variabilidad climática para el periodo 1981-2010 en las cuencas de los ríos Zulia y pamplonita, norte de Santander – Colombia. *Revista Luna Azul*, (40), 127-153.

Arteaga-Ramírez, Ramón, Cervantes-Osornio, Roció, Vázquez Peña, Mario Alberto, & Ojeda Bustamante, Waldo. (2017). Estación meteorológica convencional versus automática sus diferencias evaluadas con índices estadísticos Chapingo, México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 8(6), 1301-1314. Recuperado en 18 de noviembre de 2021, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342017000601301&lng=es&tlng=es

Benavides, Henry Osvaldo y León, Gloria Esperanza. 2007. Información técnica sobre gases efecto invernadero y cambio climático. Nota técnica Ideam-Meteo/008-2007.
<http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Gases+de+Efecto+Invernadero+y+el+Cambio+Climatico.pdf/7fabbbd2-9300-4280-befe-c11cf15f06dd>.

Bernal, Néstor; Barrios, Juan; Ramos, Carolina, Ibarra, Yuli, Lombana, Lorena; Velásquez, Walter y Beltrán, Julio. 2012. Propuesta Metodológica para la Homogenización de Series de Tiempo de Precipitación Mensual y su utilidad en procesos de toma de decisiones, estudio de caso Región Climatológica del Bajo Magdalena. XXII Simposio Internacional de Estadística (Fecha de consulta 20 de noviembre de 2021). Disponible en: http://www1.udistrital.edu.co:8080/c/document_library/get_file?uuid=aeb6c934-731a-4ae4-b419-d117ccf6b1f3&groupId=14198.

Botero, U. 2015. El cambio climático y sus efectos en la biodiversidad en América latina recuperado de: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/39855/S1501295_en.pdf?sequence=1.

Centro Regional de Formación SMN. 2021. Módulo 1: aspectos generales de las estaciones automáticas (AWS). Consultado el 09 de septiembre de 2021. <https://crf.smn.gob.ar/login/index.php>.

Colotti B., Eva, & Blanco T., Andrés, & Rodríguez G., Jorge (2003). Aplicación del coeficiente de inconsistencia como criterio de comparación entre mediciones Convencionales y Automáticas de lluvia diaria. Terra. Nueva Etapa, XIX (28),85-101. [fecha de Consulta 18 de noviembre de 2021]. ISSN: 1012-7089. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=72102804>.

Elizondo, Fernando. (2017). Utilización de estaciones meteorológicas automáticas como nueva alternativa para el registro y transmisión de datos. Posgrado y Sociedad. Revista Electrónica del Sistema de Estudios de Posgrado. 11. 33. 10.22458/rpys. v11i1.1881.

El tiempo atmosférico y clima. (08 de septiembre de 2021). En CIIFEN.

<https://ciifen.org/tiempo-atmosferico-clima/>

Estévez, Javier y Gavilán, Pedro. (2008). Procedimiento de validación de datos de estaciones meteorológicas automáticas. Aplicación a la red de información Agroclimática de Andalucía.

Estévez, Javier y Gavilán, Pedro. (2006) Revisión de los procedimientos de validación de datos de estaciones meteorológicas automáticas.

Gómez, C., Guadamarra, F., Olmos, S., Vargas, C., & Tapia, A. (2011). Cambio climático global a través del tiempo geológico. Investigación universitaria multidisciplinaria año 10- No. 10. <https://dialnet.unirioja.es/download/articulo/4106698.pdf>

Graybeal, D. Y., A. T. DeGaetano, and K.L. Eggleston, 2004a: Improved quality assurance for historical hourly temperature and humidity: development and application to environmental analysis. *J. Appl. Meteor.*, 43, 1722-1735.

IDEAM. 2016. informe de gestión 2015.

<http://www.ideam.gov.co/documents/24189/561239/INFORME+DE+GESTI%C3%93N+2015-/-f6185e2a-dd33-4765-b222-0e65a577a54e>

IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CAN - CILLERÍA. 2017. Resumen ejecutivo Tercera Comunicación Nacional De Colombia a La Convención Mar - co De Las Naciones Unidas Sobre Cambio Climático (CMNUCC). Ter - cera Comunicación Nacional de Cambio Climático. IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA, FMAM. Bogotá D.C., Colombia.

IDEAM. 2019. Manual del observador meteorológico.

<http://www.ideam.gov.co/documents/24189/102263008/M-GDI-M-M003+MANUAL+DEL+OBSERVADOR+METEOROLOGICO.pdf/d7e4570a-6487-4fa3-96dc-7ba4b61d2fe2?version=1.0>.

IDEAM, 2021. Manual para el control de calidad de datos meteorológico en la captura, pre verificación, y verificación. <http://sgi.ideam.gov.co/documents/412030/561097/M-GDI-M-M005+Manual+control+de+calidad+verificacion+V1/df211687-4a8e-4f53-955c-016929691bb3?version=1.0>.

López Martínez, German Arturo (2016). Estación Meteorológica para la Conformación de Redes. Proceso de Instalación. *Scientia Et Technica*, 21(2),115-121. [fecha de Consulta 17 de noviembre de 2021]. ISSN: 0122-1701. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84950866002>.

Montealegre Bocanegra, José Edgar. 2009. Informe final de las actividades desarrolladas en el marco del contrato de prestación de servicios No IDEAM 022 – 2009.

Martínez Ortega, Rosa María, Tuya Pendás, Leonel C, Martínez Ortega, Mercedes, Pérez Abreu, Alberto, & Cánovas, Ana María. (2009). El coeficiente de correlación de los rangos de spearman caracterización. *Revista Habanera de Ciencias Médicas*, 8(2) Recuperado en 08 de agosto de 2022, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1729-19X2009000200017&lng=es&tlng=es.

Norma UNE 500540. 2004. Directrices de validación de registros meteorológicos procedentes de redes de estaciones automáticas, validación en tiempo real. Consultado el día 09 de septiembre de 2021. <https://www.une.org>.

Organización Meteorológica Mundial, 2011. Del conocimiento a la acción: Marco mundial para los servicios climáticos potenciar la capacidad de los más vulnerables. Encontrado en: https://www.uncclern.org/wp-content/uploads/library/wmo01_2_0.pdf

Organización Meteorológica Mundial. 2017. Guía del sistema mundial de observación. Consultado el 09 de septiembre de 2021. https://library.wmo.int/?lvl=notice_display&id=12763#.YTqY0fIKjIU

Quienes somos. (17 de noviembre de 2021). En OMM. <https://public.wmo.int/es/acerca-de-la-omm/qui%C3%A9nes-somos>

Rivas Escobar Jefferson. 2014. Análisis de la correlación de datos de precipitación entre el satélite TRMN y las estaciones pluviométricas ubicadas en la cuenca del río Bogotá. [Tesis de pregrado, Universidad Santo Tomás] Repositorio Institucional <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2932/2014jeffersonrivas.pdf?sequence=4&isAllowed=y>

Urrutia, Jorge Andrés, & Palomino, Reiner, & Salazar, Hever Darío (2010). metodología para la imputación de datos faltantes en meteorología. *scientia et technica*, xvii(46),44-49.[fecha de consulta 19 de noviembre de 2021]. issn: 0122-1701. disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84920977010>

Torres Punte, Víctor M. (2019). Tiempo, clima y los fenómenos atmosféricos: desde torbellinos hasta cambio climático. Revista Digital Universitaria (RDU). Vol. 20, num. 1 enero-febrero. DOI: <http://doi.org/10.22201/codeic.16076079e.2019.v20n1.a3>

11.1 Webgrafía

AEMET. Breve historia de la meteorología. Recuperado de (https://www.aemet.es/documentos/es/conocenos/nuestra_historia/breve_historia_meteorologia.pdf)

BBC, Sputnik, el primer satélite que hizo despegar la carrera espacial entre la URSS y Estados Unidos hace 60 años. Recuperado de (<https://www.bbc.com/mundo/media-41503825>)

Cenicafe.Sf. Herramientas agroclimáticas. Recuperado de (<https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/4222/1/Cap02.pdf>)

CODS.SF. Servicios climáticos indispensables para américa latina y el caribe. Recuperado de (<https://cods.uniandes.edu.co/servicios-climaticos-indispensables-para-america-latina-y-el-caribe/#:~:text=De%20acuerdo%20con%20Naciones%20Unidas,organizaci%C3%B3n%20meteorol%C3%B3gica%20e%20hidrol%C3%B3gica%20nacional>)

IDEAM, 2022. Conceptos básicos de cambio climático. Recuperado de (<http://www.cambioclimatico.gov.co/otras-iniciativas>)

Intesco, sf. Diferencias entre un pluviómetro y un pluviografo. Recuperado de (<https://www.intesco.com.co/sabes-en-que-se-diferencian-un-pluviometro-y-un-pluviografo/>)

Meteored. Sf. Historia de la meteorología. Recuperado de (<https://www.meteored.mx/noticias/divulgacion/historia-de-la-meteorologia-primera-parte.html>)




OMM. 2022. Historia de la Organización Meteorológica Internacional. Recuperado de ([https://public.wmo.int/es/acerca-de-la-omm/qui%C3%A9nes-somos#:~:text=La%20Organizaci%C3%B3n%20Meteorol%C3%B3gica%20Internacional%20\(OMI\)%20fue%20fundada%20en%201873%20durante,Organizaci%C3%B3n%20Meteorol%C3%B3gica%20Mundial%20\(OMM\).](https://public.wmo.int/es/acerca-de-la-omm/qui%C3%A9nes-somos#:~:text=La%20Organizaci%C3%B3n%20Meteorol%C3%B3gica%20Internacional%20(OMI)%20fue%20fundada%20en%201873%20durante,Organizaci%C3%B3n%20Meteorol%C3%B3gica%20Mundial%20(OMM).))

Omm.2022. Observaciones. Recuperado de (<https://public.wmo.int/es/observaciones>)
Sarmiento, N., Ramírez, C., Jaramillo, A., Restrepo, A., y García, J. (2018). *Monitoreo climático: Herramienta al servicio de la caficultura colombiana*. Proyecto GIA - Manos al Agua. Cenicafé. 110 p. www.cenicafe.org/es/index.php/nuestras_publicaciones/proyecto_gia_manos_al_agua/P8.

SIAC, sf. Servicios climáticos. Recuperado de (<http://www.siac.gov.co/servicios-climaticos>)

12 Apéndices / Anexos

Anexo A. Hoja de inspección estación automática Marengo

 INFORME TECNICO VISITA ESTACIONES HIDROMETEOROLOGICAS				<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">04</div>			
HIDROLOGIA <input type="checkbox"/>		METEOROLOGIA <input checked="" type="checkbox"/>		No. AREA OPERATIVA			
OBJETO COMISION: Realizar visitas a estaciones automaticas IDEAM del area operativa 04 para mantenimientos preventivos/correctivos, estaciones visitadas: Pueblo nuevo, la plata, Inza, marengo, La primavera, Florencia deslizamientos, Macagal, sanvicente del caguan, hda la manila, los guacharos y Purace				Nueva			
				Existente	<input checked="" type="checkbox"/>		
CATEGORIA	Agrometeorológica		CODIGO	21015060			
NOMBRE ESTACION	Marengo		COORDENADAS	1.8455194, -76.086483333333			
SUBCUENCA	Río Páez		ELEVACION	1550 Escala 1:			
MUNICIPIO	Pitalito		TIPO ESTACION	AUTOMATICA			
DIV.POL.ADTIVA			ULTIMA VISITA				
FOTOGRAFIA ANTES				FOTOGRAFIA DESPUES			
							
INSTRUMENTAL							
CANT	EQUIPO	SERIAL	ESTADO	REEMPLAZO	EQUIPO	SERIAL	OBSERVACIONES
1	Transmisor	30150894	Bueno				
1	Plataforma	A-8809	Bueno				
1	Antena	201412858	Bueno				
1	s. vientos	5130901019	Bueno				
1	s. radiacion	27810	Bueno				
1	s. radiacion visible	403794	Bueno				
1	s. Tem y hum aire	tbsht031810	Bueno				
1	s. Tem y hum aire 10 cm	29130	Bueno				
1	s. hum suelo	12173	Bueno				
1	s. Tem suelo	403582	Bueno				
1	s. precipitación	84494	Bueno				
1	mastil	28933	Bueno				
1	gabinete	G0010632	Bueno				
1	Panel Solar	NT	Bueno				
ACTIVIDADES REALIZADAS : Se realizó mantenimiento de sensores y del jardín meteorológico, cambio de SIM CARD, actualización de Fireware del sistema de transmisión y backup del Sistema colector de datos DCP de las estaciones, se comprueba que la estación quede transmitiendo con éxito.							
ACTIVIDADES PENDIENTES: Hacer seguimiento de los datos emitidos por la estación.							
FECHA 04/05/20201		COORDINADOR AREA OPERATIVA		FECHA 27/04/20201		FUNCIONARIO	

Anexo B. Código R-studio validación por rango variable

```

library(xts) # Series Temporales
library(lubridate) # Utilidades para manejo de fechas
library(moments) # Momentos estadísticos
library(ggplot2) # Plot
library(ggpubr) # Plot
attach(temperaturas_horarias)
datos<-temperaturas_horarias
datos <- as.xts(datos$dato, order.by = as.Date(datos$Fecha))
cat("Número de días con registro: ", length(datos))
cat("Número de días totales: ", max(index(datos))-min(index(datos))+1)
fechas <- seq(min(index(datos)), max(index(datos)), by = "day") # Fechas completas
empty.vector <- xts(order.by = fechas) # Serie temporal vacía
datos <- cbind(datos, empty.vector)
cat("\fNúmero de días con registro: ", length(datos))
cat("\nNúmero de días totales: ", max(index(datos))-min(index(datos))+1)

datos.df <- data.frame(t = index(datos), datos)
p <- ggplot(datos.df, aes(t, datos)) + geom_line() +
  labs(title = "Temperaturas estación Marengo", x = "Fechas", y = "°C") +
  theme(plot.title = element_text(hjust = 0.5, face = "bold"), text = element_text(size = 14))
datos.df[,1] <- month(index(datos)) # Mes de adquisición del dato
bp <- ggplot(datos.df, aes(t, datos, group = t)) +
  geom_boxplot() + labs(x = "Meses", y = "°C") +
  scale_x_continuous(breaks = c(1:12)) +
  theme(text = element_text(size = 14))
tp <- ggarrange(p, bp, nrow = 2, ncol = 1, heights = c(1, 0.8))
tp

c <- 1.5 # Coeficiente para boxplots

horas.ppt <- dato
# Manual
cuart <- quantile(horas.ppt, na.rm = T) # Cuartiles
icr <- cuart[4] - cuart[2] # Distancia intercuartilica
lims <- c(cuart[2]-c*icr, cuart[4]+c*icr) # Limites
names(lims) <- c("Inferior", "Superior")
lims
atipicos.select.m <- dato < lims(1) | dato > lims(2)

atipicos.select.m
boxplot(dato)
?boxplot
quantile(dato)
stats <- boxplot.stats(as.numeric(horas.ppt), coef = c) # Boxplot automático
stats

```