DOI: 10.24850/j-tyca-2026-06-01

Artículos

Identificación estadística de datos anómalos de la precipitación: estudio en la estación climatológica convencional 9048 Tacubaya

Anomalous precipitation data statistical identification: study at the conventional climatological station 9048 Tacubaya

Margarita Preciado[1], ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5874-2603

José A. Bravo[2], ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2281-7188

Maritza Arganis[3], ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1429-1243

Citlalli Astudillo[4], ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8153-9387

[1]Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Jiutepec, Morelos, México, preciado@tlaloc.imta.mx

[2]Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Jiutepec, Morelos, México, jose_bravo@tlaloc.imta.mx

[3]Universidad Nacional Autónoma de México-Instituto de Ingeniería, Ciudad de México, México, marganisJ@iingen.unam.mx

[4]Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Jiutepec, Morelos, México, castudillo@tlaloc.imta.mx

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Autora para correspondencia: Maritza Liliana Arganis-Juárez, marganisj@iingen.unam.mx

Resumen

En este artículo se destaca la importancia de realizar un análisis riguroso de la calidad de los datos registrados en estaciones climatológicas, aspecto fundamental para abordar los desafíos hidrológicos e hidráulicos en la ingeniería. Se analizaron los registros de precipitación mensual de la estación 9048 Tacubaya, México, reconocida por contar con más de un siglo de datos históricos. Se aplicaron medidas estadísticas de tendencia central, dispersión, distribución de frecuencias y asimetría para evaluar la consistencia y precisión de las series. Asimismo, se incorporaron comparaciones temporales y espaciales apoyadas en herramientas de sistemas de información geográfica (SIG), lo que permitió identificar valores atípicos en meses de estiaje e invierno (enero, febrero, marzo, noviembre y diciembre), varios de los cuales fueron validados mediante registros de estaciones vecinas. Esta investigación no solo documenta líneas de trabajo vigentes en el control de calidad hidroclimático, sino que también sienta las bases para futuros estudios en áreas críticas como la planificación hídrica, la gestión del riesgo de desastres y la adaptación climática.

Palabras clave: precipitación, datos meteorológicos, análisis estadístico, sistema de información geográfica, SIG, gestión de los recursos hídricos, gestión de riesgos, México.

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Abstract

This paper highlights the importance of rigorously assessing the quality of climatological station records, which is essential for addressing hydrological and hydraulic engineering challenges. Monthly precipitation data from the 9048 Tacubaya station in Mexico, renowned for its continuous record spanning over a century, were analyzed. Statistical measures of central tendency, dispersion, frequency distribution, and skewness were applied to evaluate data consistency and accuracy. In addition, temporal and spatial comparisons using geographic information systems (GIS) were conducted, enabling the identification of outliers during dry and winter months (January, February, March, November, and December), several of which were validated against records from neighboring stations. This study not only documents current methodologies in hydroclimatic quality control but also establishes a framework for future research in water resources planning, disaster risk management, and climate adaptation.

Keywords: precipitation, meteorological data, statistical analysis, geographical information systems, GIS, water resources management, risk management, Mexico.

Recibido: 17/10/2024

Aceptado: 14/02/2026

Publicado *ahead of print*: 05/03/2026

Versión final: 01/11/2026

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Introducción

El análisis de la calidad de los registros de precipitación es fundamental para garantizar la precisión de los estudios hidrológicos y climáticos. La confiabilidad de estos datos permite comprender mejor la variabilidad del clima, y sustenta decisiones en la gestión de los recursos hídricos y en la planificación de infraestructuras. En México, la estación climatológica convencional 9048 Tacubaya constituye un referente histórico por contar con más de un siglo de registros continuos. Su relevancia radica en que ofrece una base sólida para evaluar la consistencia de las mediciones y detectar posibles valores atípicos que podrían afectar los modelos de predicción y los análisis de tendencias.

En esta investigación se aplican herramientas estadísticas y de sistemas de información geográfica (SIG) para examinar la calidad de los registros de precipitación mensual de la estación 9048. El objetivo es identificar patrones, inconsistencias y variaciones que permitan mejorar la fiabilidad de los datos y, con ello, fortalecer su uso en estudios hidrológicos, climáticos y de gestión ambiental.

La calidad de los registros de precipitación constituye un requisito esencial para la implementación de modelos climáticos empírico-estadísticos, dado que errores o inconsistencias en los datos pueden afectar significativamente las proyecciones regionales y locales (Benestad, 2004). La precisión en los datos de entrada es crucial para garantizar que los modelos reflejen con exactitud las condiciones climáticas regionales y locales. Benestad enfatiza que los errores en los registros de precipitación, como valores faltantes, anomalías o datos mal ajustados, pueden generar desviaciones significativas en las predicciones

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

climáticas. Para mitigar estos problemas, es fundamental aplicar controles de calidad rigurosos y técnicas estadísticas que permitan identificar y corregir inconsistencias en los datos, a fin de garantizar la fiabilidad de las proyecciones climáticas derivadas de dichos modelos.

Un análisis exhaustivo de la calidad de los registros de precipitación garantiza que las decisiones basadas en estos datos sean informadas y precisas, lo cual apoya tanto la investigación científica como estudios hidrológicos y la gestión práctica de los recursos hídricos (Veiga *et al*. 2015). Diversos estudios abordan dicha importancia. Destacan los de Hidalgo-Navarro (2011), quien desarrolló una metodología basada en herramientas gráficas y estadísticas para validar datos de calidad del aire generados por una red de monitoreo automático. Los hallazgos mostraron que la red de monitoreo era capaz de proporcionar datos consistentes y precisos, lo que es crucial para estudios de sostenibilidad hídrica; se basó en niveles de validación de los datos (del 1 al 3 de acuerdo con la EPA, 2021), con un nivel 2 de validación de sus resultados. García-Marín *et al*. (2014) examinaron la importancia de la hidrología en la ingeniería del agua y abarcaron temas fundamentales como el ciclo hidrológico, la lluvia, la interceptación de agua por la vegetación, el uso de sensores en hidrología y el estudio del agua subterránea. Su investigación destaca la relevancia de las mediciones de datos y la revisión de su calidad para asegurar la efectividad de las infraestructuras hídricas. Núñez-González y García-Suárez (2018) analizaron la calidad de los datos y la tendencia de algunos índices de precipitación en el estado de Jalisco. Calcularon cinco índices de precipitación a partir de las series de tiempo de 48 estaciones climatológicas. Los resultados mostraron problemas de homogeneidad en las series de datos y una disminución en el índice de precipitación total anual en el 71 % de las series, mientras que el índice de días consecutivos

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

secos aumentó en el 85 % de los casos analizados. Hicieron un estudio de la validación espacial de datos climatológicos y pruebas de homogeneidad en Veracruz, México. Encontraron que los datos climatológicos de Veracruz presentaban inconsistencias espaciales significativas. Utilizando pruebas de homogeneidad, identificaron variaciones que podrían afectar la precisión de los modelos climáticos. La implementación de métodos estadísticos y herramientas de GIS ayudó a mejorar la validez de los datos. Cervantes-Osornio *et al*. (2023) examinaron la calidad de los datos medidos en el monitoreo hidrometeorológico. Se centraron en el río Hondo, Quintana Roo, México. Identificaron que un porcentaje significativo de los datos presentaba inconsistencias, que afectaba la precisión de los modelos hidrológicos. También destacaron la necesidad de mejores prácticas en la recolección y validación de datos para asegurar resultados más confiables y válidos en estudios futuros.

El estudio de series temporales constituye una herramienta clave para evaluar la calidad de los registros de precipitación y modelar fenómenos climáticos dependientes de patrones temporales (Brockwell & Davis, 2016). Asimismo, permite identificar tendencias, estacionalidad y valores atípicos que podrían indicar errores en la recolección de datos o anomalías en los fenómenos climáticos. Al aplicar técnicas de suavizado y filtrado es posible corregir o ajustar datos erróneos, a fin de mejorar la precisión de los registros. La metodología que proponen es clave para asegurar que los datos sean consistentes antes de utilizarlos en predicciones o modelos de precipitación a largo plazo. En su revisión sobre los ajustes de homogeneidad en datos climáticos *in situ*, abordan los problemas de calidad en los registros de precipitación y cómo las discontinuidades en los datos pueden afectar los estudios climatológicos.

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Las discontinuidades pueden deberse a cambios en los instrumentos de medición, en la ubicación de las estaciones o en los procedimientos de observación. Los autores enfatizan la necesidad de realizar ajustes de homogeneidad para corregir estos problemas, lo que implica comparar los datos con estaciones cercanas y aplicar técnicas estadísticas para asegurar que los registros sean comparables a lo largo del tiempo. Este enfoque es esencial para garantizar la precisión y consistencia de los datos de precipitación, especialmente en estudios a largo plazo y en la detección de cambios climáticos. México cuenta con diversas áreas verdes ubicadas en las ciudades, que se identifican como bosques urbanos, esto es, áreas de valor ambiental que se localizan en suelo urbano, donde predominan especies de flora arbórea y arbustiva, y se distribuyen otras especies de vida silvestre asociadas, representativas de la diversidad biológica, al igual que especies introducidas para mejorar su valor ambiental, estético, científico, educativo, recreativo, histórico, cultural o turístico, o bien por otras razones análogas de interés general, cuya extensión y características contribuyen a mantener la calidad del ambiente en la ciudad (Gobierno del Distrito Federal, 2003). La observación del clima y sus cambios, especialmente ante la intervención humana, requiere del uso de datos climatológicos históricos de alta confiabilidad. Por ello, antes de cualquier estudio, es fundamental someter la información a un riguroso control de calidad para depurar registros erróneos o dudosos, típicamente originados por problemas de observación, digitalización o transcripción. Los datos utilizados en este trabajo provienen de la Estación Climatológica Convencional 9048 "Tacubaya". Su historia comienza el 6 de marzo de 1877, cuando el observatorio meteorológico y astronómico fue inaugurado en el Castillo de Chapultepec, bajo el decreto del presidente Porfirio Díaz y el ministro

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Vicente Riva Palacio. Bajo la dirección de su primer director, el ingeniero Mariano Bárcena, el observatorio se mudó al exArzobispado en Tacubaya en 1883, su ubicación actual. Bárcena impulsó la creación de una red nacional, lo que permitió que para 1880 México ya formara parte de los 23 países con mediciones meteorológicas sistematizadas. La estación 9048 es de vital importancia por su extensa serie de tiempo, con registros que datan desde el 6 de marzo de 1877 (Figura 1).

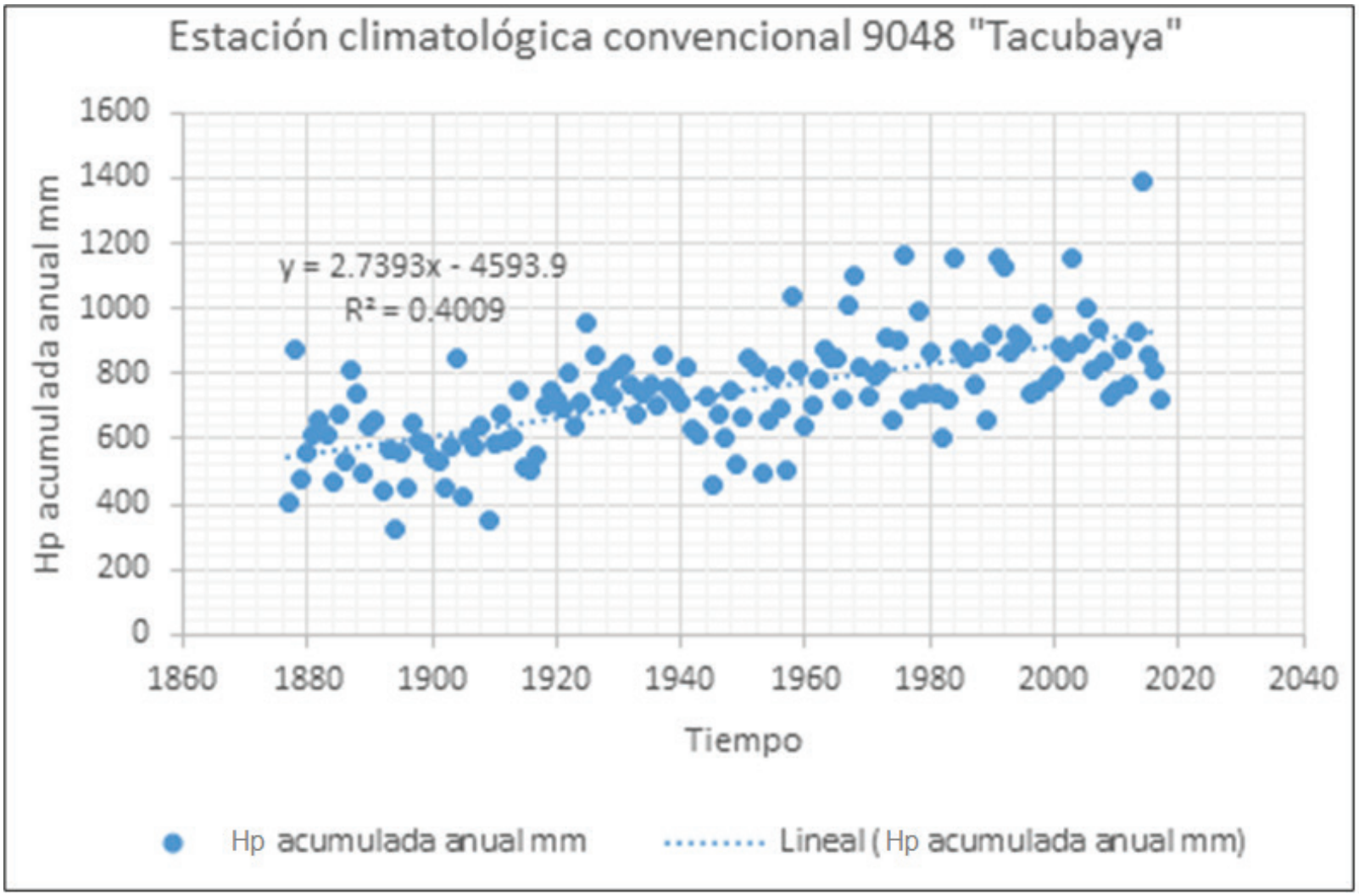


Figura 1. Datos de lluvia de la estación climatológica 9048.

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Al examinar los registros de precipitación acumulada anual de la estación (Figura 1), se observa una tendencia lineal ascendente a lo largo de más de 130 años de datos. Sin embargo, dicha tendencia coexiste con una alta variabilidad interanual, evidenciada por la considerable dispersión de los datos alrededor de la línea de ajuste (lo que resulta en un bajo valor de R^2). Esta dispersión incluye picos muy altos (cercanos a 1 400 mm) y valles muy bajos (cercanos a 300 mm), lo que subraya la necesidad de un control de calidad detallado.

Relevancia del control de calidad en hidrología

La literatura científica enfatiza la necesidad de este control. Domínguez *et al*. (2018) señalan que la variabilidad en los registros es común debido a factores como la ubicación y cambios en los equipos, e insisten en la importancia de análisis estadísticos, como la comparación de medias y coeficientes de variación para corregir anomalías antes de usarlos en estudios hidrológicos y de riesgo ambiental. Por su parte, Burn (1990), en el contexto de análisis regional de frecuencias de inundaciones, recalca que las inconsistencias o errores (valores atípicos o brechas) pueden distorsionar los resultados de los modelos predictivos, haciendo que el control de calidad sea crucial para el diseño confiable de infraestructura y la planificación urbana. En esta investigación, para garantizar la máxima precisión, el análisis de calidad fue mensual. Este enfoque permite una mayor aproximación a las variaciones reales, mejora la calidad de los datos y facilita la detección más precisa de posibles valores atípicos dentro del contexto climático local.

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

La restauración y/o conservación de estas zonas de valor ambiental se ha vuelto prioridad, ya que son requeridas para mejorar la función ambiental de la zona. Para ello es necesario llevar a cabo una serie de estudios que permiten diagnosticar y establecer acciones que frenen su deterioro. En muchas ocasiones, el deterioro ambiental dependerá de las circunstancias presentes, como el clima, actividades antrópicas o fenómenos hidrometeorológicos que, en combinación con la situación actual, generen problemas específicos.

La presente investigación ofrece una valiosa contribución al análisis de la calidad de los datos de precipitación mensual registrados por la estación climatológica 9048 en la Ciudad de México. Mediante un enfoque riguroso, se emplearon diversas herramientas estadísticas y tecnológicas para asegurar la precisión y consistencia de los datos. El análisis incluyó el uso de hojas de cálculo en la gestión y procesamiento de la información, el concepto de cuartiles para evaluar la dispersión de los datos y la representación visual mediante gráficas de cajas y bigotes (box-plots), que facilitaron la identificación de valores atípicos y patrones anómalos. Además, el uso de sistemas de información geográfica (SIG) permitió hacer comparaciones espaciales y temporales con estaciones cercanas, lo que proporcionó una visión más integral de la variabilidad climática de la región.

Las expectativas de esta investigación son amplias, pues su enfoque no solo mejora la calidad de los registros de precipitación en la estación 9048, sino que también sienta las bases para su aplicación en otras estaciones climatológicas del país. A largo plazo, la metodología empleada podría contribuir de modo significativo a la mejora de los sistemas de monitoreo climático, al proporcionar datos más confiables para estudios

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

hidrológicos, modelación climática y gestión de recursos hídricos. Este enfoque integral permite una mayor precisión en la toma de decisiones ambientales, urbanísticas y de prevención de riesgos, lo que podría tener un impacto positivo en la planificación de políticas públicas relacionadas con el cambio climático y la gestión de desastres naturales.

Metodología

Sitio de estudio

La estación 9048 Tacubaya Central (Obs) (Figura 2) se ubica dentro de las instalaciones del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y en las cercanías con el Bosque de Chapultepec, el cual representa el 52 % de las áreas verdes de la Ciudad de México y ofrece importantes servicios ambientales, como la recarga hídrica y la regulación de la temperatura, además de ser refugio para las aves migratorias y la fauna nativa. Es tal su importancia, que fue declarada como Área de Valor Ambiental el 2 de diciembre de 2003 (SMN, 2024).

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tecnología y Ciencias del Agua
OPEN ACCESS
Check for updates

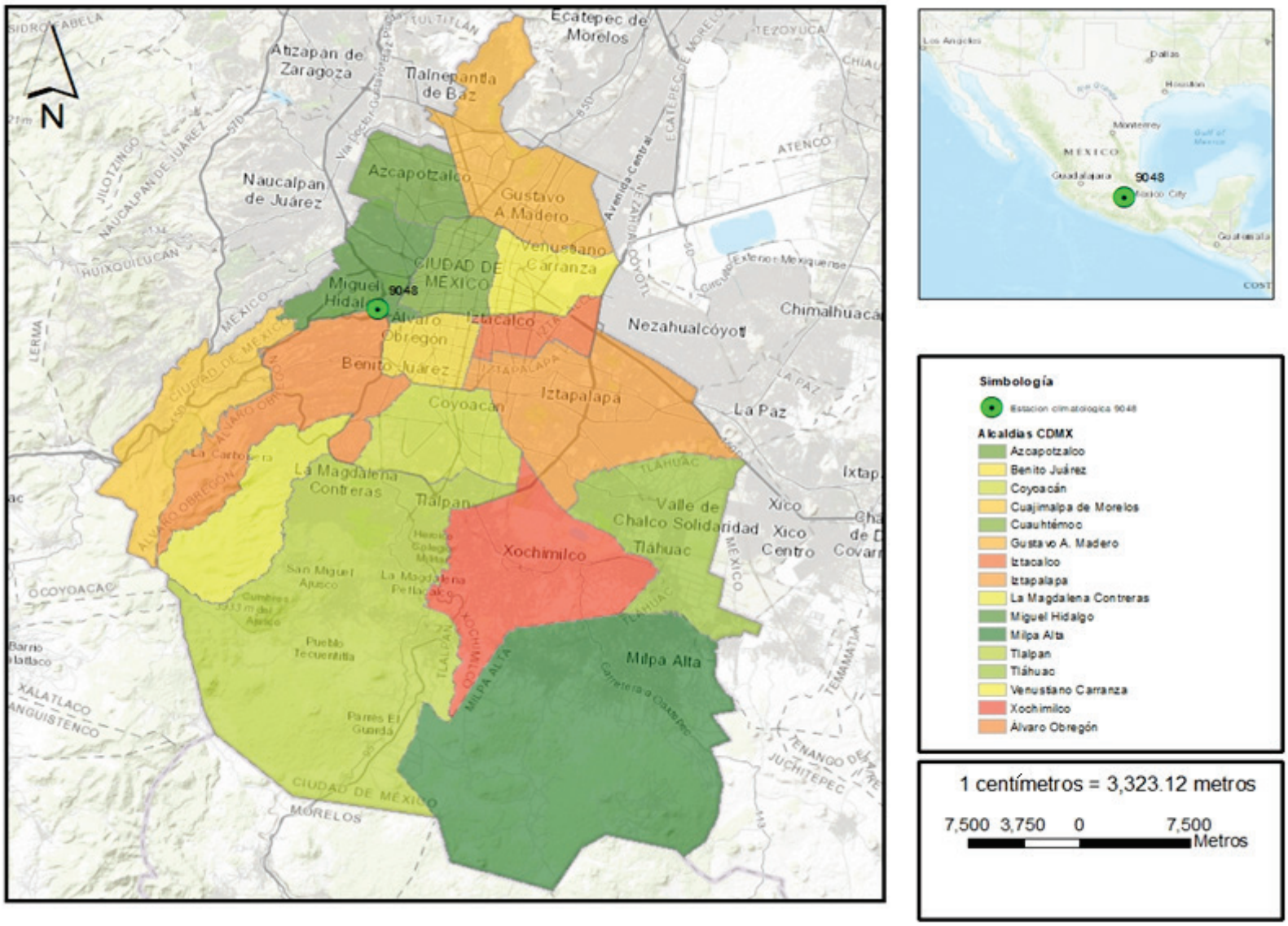


Figura 2. Ubicación de la estación climatológica 9048.

Preparación de la información de análisis

Para realizar este análisis se obtuvo la base de datos de precipitación de la estación 9048 del CLICOM (Conagua, 2019), los datos diarios se acumularon para obtener el total mensual de precipitación y se

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

descartaron aquellos meses que no contaron con al menos el 80 % de registros. La información de precipitación mensual se organizó por año y mes, con el fin de aplicar las estadísticas a cada grupo de información; para cada año se obtuvo el porcentaje de información correspondiente para los meses de estiaje y lluvia, con el objeto de proporcionar información suficiente para descartar o considerar el dato mensual de análisis.

Análisis de información con estadística descriptiva

La estadística descriptiva aplicada a los datos de precipitación mensual registrados en la estación climatológica son la media, que indica el valor promedio mensual; la mediana, el valor de la variable de posición central en un conjunto de datos ordenados; la moda, como el valor con mayor frecuencia en una distribución de datos; la desviación estándar, que se utiliza para cuantificar la variación o la dispersión de un conjunto de datos numéricos con respecto a su media, y finalmente la curtosis, que determina el grado de concentración que presentan los valores de una variable alrededor de la zona central de la distribución de frecuencias (Tabla 1).

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tabla 1. Variables estadísticas y sus ecuaciones que serán aplicadas a los datos de lluvia de la estación 9048.

Estadística		Ecuación
Media		$\frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n}$ (1)
Mediana	Si es par	$\frac{1}{2}\left(x_{\frac{N}{2}} + x_{\frac{N}{2}+1}\right)$ (2)
	Si es impar	$x_{\frac{N+1}{2}}$ (3)
Moda		Datos x_i más repetidos
Desviación estándar		$\sqrt{\frac{1}{N}.\sum_{i=1}^{N}(x_i - \bar{X})^2}$ (4)
Curtosis		$\frac{1}{n}.\frac{\sum(x_i-\bar{X})^4}{\sigma^4} - 3$ (5)

Para visualizar el comportamiento general de los datos, se aplicó estadística descriptiva a las series mensuales por año; es decir, se realizó el análisis a todos los meses de enero, febrero, marzo y así sucesivamente.

Análisis de información con histograma

Otra forma de visualizar el comportamiento general de los datos es a través de un histograma; para ello se requiere conocer el rango (diferencia entre el valor máximo y el mínimo); el intervalo dado por la regla de Sturges [1+3.322 Log(N)], donde N es la cantidad de registros, y la amplitud que resulta de dividir el rango entre el intervalo (Kuehl, 2001).

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Identificación de datos atípicos utilizando el rango intercuartil

En la identificación de posibles valores atípicos es necesario evaluar si se encuentran o no dentro de un límite numérico establecido, que puede definirse como leve (límites internos) o extremo (límites externos). Una forma de establecer dichos límites es aplicando el rango intercuartil, que se define como la diferencia entre el cuartil superior (Q3, el 25 % más alto) y el cuartil inferior (Q1, el 25 % más bajo) de un conjunto de datos. El rango intercuartil se utiliza para construir diagramas que permiten visualizar la variabilidad de una serie de datos, comparar distribuciones de la misma y ubicar valores extremos. En un diagrama de caja se considera un valor atípico aquel que se encuentra a 1.5 veces esa distancia de uno de esos cuartiles (límite interno) o a 3 veces esa distancia de uno de esos cuartiles (límite externo) (Minitab, 2019). El límite interno del conjunto de datos se establece multiplicando el rango intercuartil por 1.5; dicho valor se suma al Q3 y se resta al Q1. El procedimiento es el mismo para la obtención del límite externo, pero multiplicando el rango intercuartil por 3.

Comparación con estaciones cercanas

El proceso anterior en primera instancia puede indicar la presencia de datos atípicos, pero es necesario, además, tener claro lo que se considera anormal, y decidir si el dato se utiliza o no de acuerdo con el estudio que se está realizando. Considerando el análisis anterior, el resultado arroja una serie de datos a una distancia anormal de otros valores; sin embargo, al ser la precipitación un valor relativamente variable en el tiempo y en el

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

espacio, es necesario complementar la información tomando en cuenta mediciones de estaciones cercanas que podrían indicar si el dato es válido o no. Dicho proceso se puede llevar a cabo con herramientas GIS que permiten obtener la información. En este estudio se empleó Near de ArcGIS®.

Resultados

Como resultado del análisis realizado se obtuvieron los estadísticos mensuales de la estación 9048, así como la identificación de los posibles datos atípicos, el porcentaje de información anual y la tabla comparativa con estaciones cercanas.

El análisis mensual permitió homogeneizar el comportamiento estacional que tienen las lluvias, pues es muy poco probable que, por ejemplo, en todo el mes de enero se presente el mismo volumen de lluvia que en septiembre. La aplicación de estadísticos a la información mensual permitió identificar aquellos valores fuera de rango y puedan dar indicios de que se trate de un valor erróneo. En la Tabla 2 se muestran los estadísticos aplicados a las series mensuales de la estación 9048 para los meses de lluvia.

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tabla 2. Datos estadísticos calculados para los registros de la base de datos histórica de estación 9048 para el valor de la precipitación (Hp) en mm.

Estadística	Meses				
	6	7	8	9	10
Media (mm)	124.73	155.68	148.84	129.38	53.38
Mediana (mm)	122.40	149.00	140.45	115.60	45.60
Moda(mm)	132.80	174.20	150.00	85.70	32.20
Desviación estándar	64.92	59.52	60.34	61.35	40.99
Varianza de la muestra	4 214.65	3 542.94	3 640.44	3 764.10	1 679.93
Curtosis	1.44	-0.18	0.78	0.54	1.87
Coeficiente de asimetría	0.92	0.38	0.83	0.81	1.28
Mínimo (mm)	0.00	0.00	40.00	4.00	0.00
Máximo (mm)	358.60	319.80	338.00	318.30	194.30

Como puede observarse, en la información correspondiente al mes de julio, el valor de la desviación estándar indica que los datos con respecto a la media del periodo (155.68 mm) varían en 59.52 milímetros; de acuerdo con la información, el valor que más se repite en la serie de datos es el de 174.2, registrado dos veces durante el periodo; por otro lado, el valor de curtosis es negativo, lo que significa que hay una menor concentración de datos en torno a la media, y mide el grado de agudeza y planitud de una distribución. Un valor grande y positivo indica que las colas son más largas que las de una distribución normal. Una curtosis negativa indica que una distribución de datos es más plana que una distribución normal y que los valores atípicos son menos extremos. La

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

información mensual de cada año se graficó y comparó con el valor de la media donde se observa la dispersión de los datos (Figura 3).

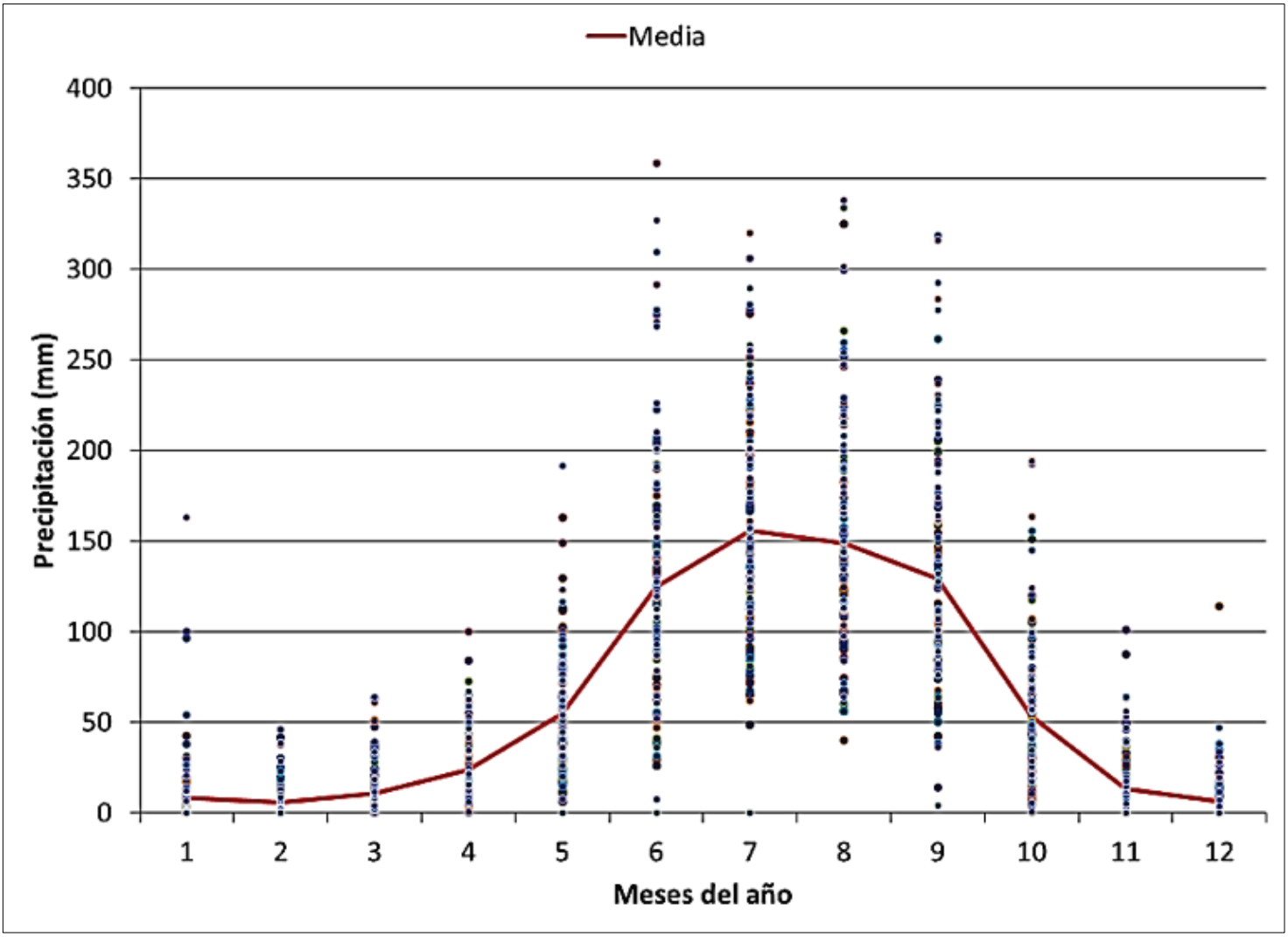


Figura 3. Datos mensuales (Hp mm) de la estación 9048 y su media.

Para el caso de la estación 9048, se definieron nueve clases, con una amplitud de aproximadamente 18 mm, y se obtuvieron sus respectivas frecuencias para generar los gráficos correspondientes a cada

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

uno de los meses. Con ayuda de la herramienta de análisis de datos de la hoja de datos de Excel© se obtuvieron los histogramas correspondientes. En la Figura 4 se muestran como ejemplo los histogramas correspondientes a los meses de julio y agosto.

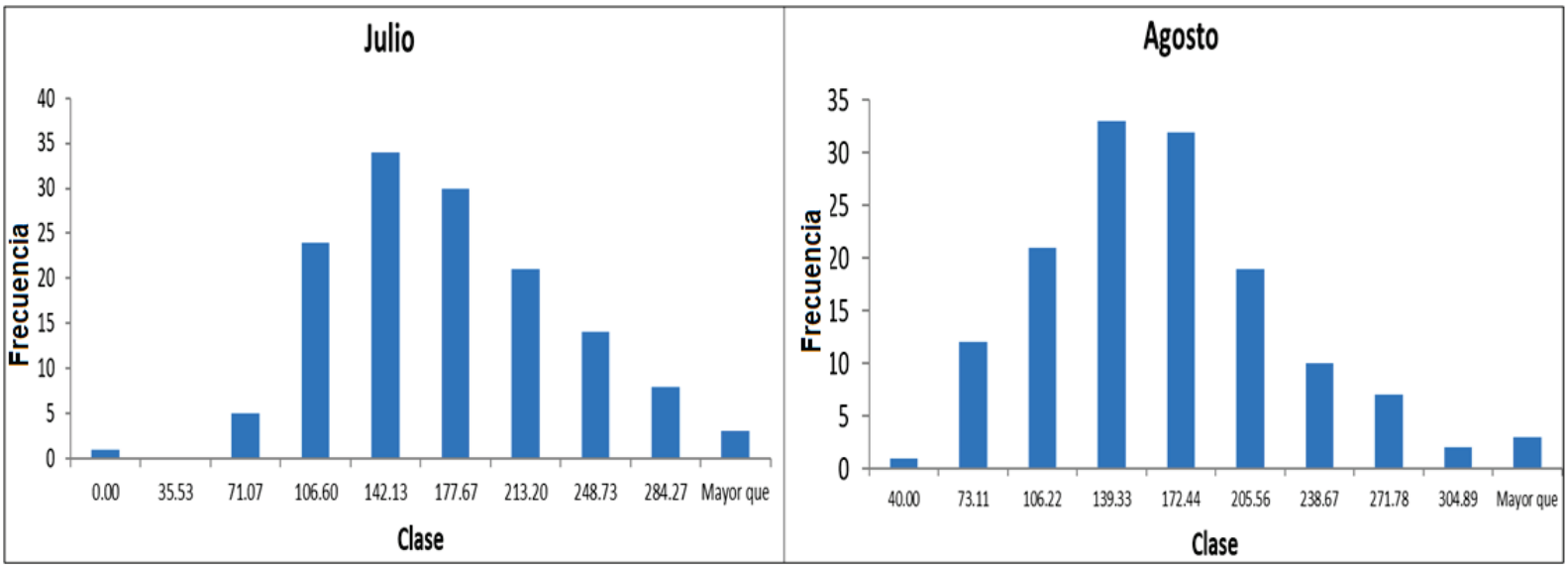


Figura 4. Histogramas de la estación 9048 para julio y agosto.

El uso de gráficas de cajas y bigotes (*box-plots*) es una herramienta sumamente poderosa para la visualización y el análisis de datos, ya que permite identificar de manera clara y eficiente la distribución de un conjunto de datos, así como detectar posibles valores atípicos. Estas gráficas proporcionan una representación visual de los cuartiles, que dividen el conjunto de datos en cuatro partes iguales, y resaltan los percentiles, que ayudan a identificar valores extremos o anomalías. En particular, los valores por encima del percentil 95 suelen ser considerados

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

como posibles datos atípicos, lo que facilita su rápida identificación y análisis.

Una de las grandes ventajas de las *box-plots* es que no solo permiten visualizar la mediana y dispersión de los datos, sino que también destacan el rango intercuartil, una medida clave para comprender la variabilidad central del conjunto de datos. En el análisis de precipitación, estas gráficas son especialmente útiles para detectar patrones inusuales, pues el comportamiento de las precipitaciones puede variar de forma significativa de un mes a otro. En la Figura 5, el análisis intercuartil revela cómo las *box-plots* permiten detectar de manera visual aquellos valores que se alejan del comportamiento esperado, lo que facilita la toma de decisiones y la corrección de datos inconsistentes. Esta herramienta, por tanto, es invaluable para asegurar la precisión y calidad de los registros meteorológicos.

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tecnología y Ciencias del Agua
OPEN ACCESS
Check for updates

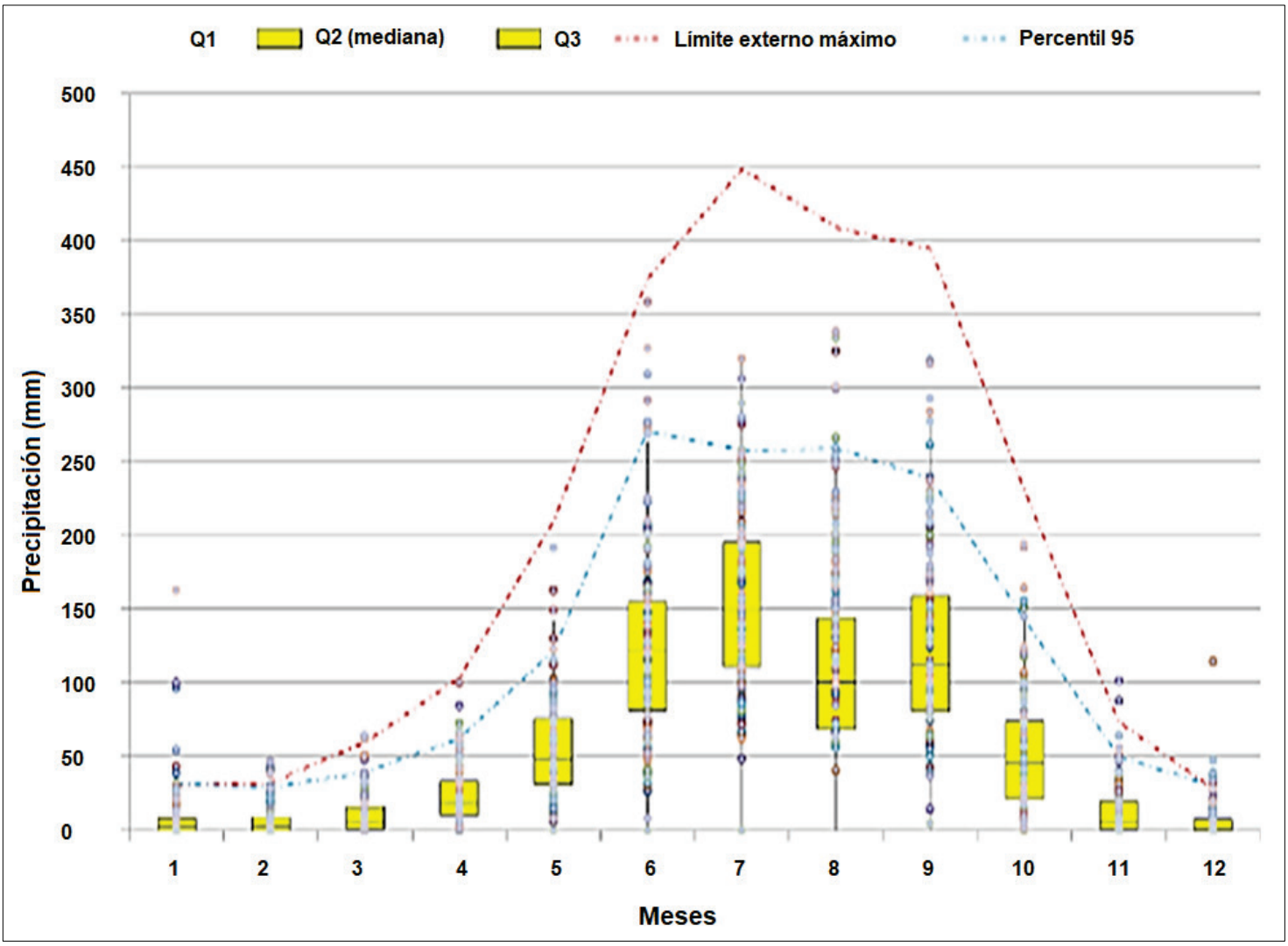


Figura 5. Diagrama de caja de las series mensuales de la estación 9048.

Con ayuda de herramientas informáticas y utilizando los valores identificados como límites para señalar un posible dato atípico, se integraron en una tabla dichos datos, identificando el año y mes correspondientes. Con la herramienta Near de ArcGIS® se obtuvo la lista de estaciones cercanas a la estación 9048 para una distancia máxima de

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

10 kilómetros (Figura 6) y se extrajo la información correspondiente de las fechas de registro de los posibles datos atípicos de cada una de ellas.



Figura 6. Ubicación de la estación 9048.

En la Tabla 3 se muestra un ejemplo de comparación de algunos posibles datos atípicos identificados utilizando métodos estadísticos.

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Como puede visualizarse, los datos registrados en las estaciones cercanas son muy similares a los de la estación 9048, lo que podría indicar que podrían ser correctos.

Tabla 3. Posibles datos atípicos identificados para la estación 9048 y sus estaciones cercanas.

Año	Mes	Precipitación (Hp mm) registrada por estación climatológica										
		9048	9010	9039	9064	9012	9005	9011	9015	9031	9040	9050
		(mm)										
1914	1	42.7										
1919	1	96.3										
1925	1	38.2										
1958	1	99.8		102.5		103.6		110.5	76.9	57.9		117.0
1964	1	30.7		28.6		35.4	-		29.0	33.9	-	31.8
1967	1	53.9		61.0		65.0	55.2		55.2	61.0	58.1	61.5
1975	1	31.4	30.3	27.4		71.0			32.9			36.1
2008	1	162.8	0.4									
1883	2	41.4										
1923	2	38.3										
1982	2	46.1	27.0	27.2	-	45.8						
1992	2	37.6							52.5			
2010	2	38.3	-									
1895	3	63.4										
1978	3	61.0	61.3	52.4		54.7			33.9			
2012	3	64.0	78.0									
1904	11	87.7										
1952	11	100.9				110.1		93.0		93.5		
1900	12	114.2										
1920	12	30.5										
1925	12	38.2										
1941	12	35.0										
1976	12	33.7	44.4	38.7		34.8			50.4			
1983	12	38.1	36.4	46.6	-	17.9						
1995	12	46.8							13.5			

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Para este estudio, al ser la precipitación una medición muy variable, se optó por definir el límite externo máximo como el valor máximo permitido, es decir, los valores menores a dicho indicador se consideran válidos, identificando, para el caso de la estación 9048, 25 posibles datos atípicos (Tabla 4).

Tabla 4. Posibles datos atípicos identificados para la estación 9048.

Año	Mes en el que se presenta la anomalía	Hp registrada (mm)
1883	Febrero	41.40
1895	Marzo	63.40
1900	Diciembre	114.20
1904	Noviembre	87.70
1914	Enero	42.70
1919	Enero	96.30
1920	Diciembre	30.50
1923	Febrero	38.30
1925	Diciembre	38.20
1925	Enero	38.20
1941	Diciembre	35.00
1952	Noviembre	100.90
1958	Enero	99.80
1964	Enero	30.70
1967	Enero	53.90
1975	Enero	31.40
1976	Diciembre	33.70
1978	Marzo	61.00
1982	Febrero	46.10
1983	Diciembre	38.10
1992	Febrero	37.60
1995	Diciembre	46.80
2008	Enero	162.80
2010	Febrero	38.30
2012	Marzo	64.00

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Como se observa en la Tabla 4, existen algunos valores fuera de rango en enero, febrero, marzo, noviembre y diciembre, por lo que se seleccionan como posibles datos atípicos. Al tener ya identificados estos datos, se compararon con los valores mensuales del mismo mes en otras estaciones; Por ejemplo, para el caso del valor 99.8, registrado en enero de 1958, se observan valores semejantes en varias estaciones cercanas (Figura 6): 9050 (117 mm), 9039 (103 mm), 9011 (111 mm) y 9012 (104 mm); esto indica un valor atípico que se presentó y registró correctamente (Conagua, 2019).

Conclusiones

El estudio confirmó el valor singular de los registros de precipitación de la Estación Climatológica 9048 en Tacubaya, al contar con una serie de tiempo excepcionalmente larga que data desde el 6 de marzo de 1877. La decisión de trabajar con datos mensuales aportó un valor metodológico significativo y facilitó un seguimiento detallado y preciso de las variaciones climáticas. Este enfoque resultó crucial para distinguir las tendencias estacionales regulares de las fluctuaciones anómalas. La aplicación de diversas medidas estadísticas (tendencia central, dispersión, distribución de frecuencias y coeficientes de asimetría) demostró ser una herramienta esencial y efectiva para la evaluación rigurosa de la consistencia y precisión de la serie de datos. Estas herramientas permitieron detectar de manera eficiente valores fuera de los límites normales o patrones inusuales que se desvían del comportamiento estacional predecible de la precipitación. A pesar de la extensión temporal de los registros, el análisis de calidad confirmó la existencia de valores

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

atípicos y discontinuidades inherentes a series históricas prolongadas. Esta identificación refuerza la necesidad crítica de la depuración de datos dudosos y la posterior validación con registros de estaciones climatológicas cercanas para garantizar la fiabilidad del conjunto de datos. El enfoque mensual fue determinante para identificar con mayor precisión las anomalías estacionales que, de no corregirse, podrían comprometer la correcta interpretación de las tendencias climáticas de largo plazo.

La investigación subraya que la calidad de los datos de precipitación es un requisito crítico e indispensable para la planificación hidrológica, la gestión efectiva de los recursos hídricos y la prevención de riesgos asociados con fenómenos meteorológicos extremos. La metodología de control de calidad estadística y depuración empleada en este estudio constituye un aporte replicable que puede fortalecer la base de datos de otras estaciones climatológicas a nivel nacional, lo cual es fundamental para enfrentar los desafíos impuestos por el cambio climático y la gestión sostenible del agua en el país.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Comisión Nacional del Agua (Conagua) por el uso de los datos climatológicos.

Financiamiento

No se contó con financiamiento para esta investigación.

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Declaración de conflictos de interés

Los autores manifiestan que no se cuenta con ningún conflicto de interés.

Declaración de uso de IA

Se utilizó una herramienta de inteligencia artificial (Gemini, Google) exclusivamente para la asistencia en la corrección de estilo, traducción al inglés y revisión del formato de referencias. Todo el análisis, los resultados y el contenido final fueron verificados y aprobados por los autores.

Referencias

Benestad, R. E. (2004). Empirical-statistical downscaling in climate modeling. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, *85*(42), 417-422. https://doi.org/10.1029/2004EO420002

Brockwell, P. J., & Davis, R. A. (2016). *Introduction to time series and forecasting* (3rd ed.). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-29854-2

Burn, D. H. (1990). Evaluation of regional flood frequency analysis with a region of influence approach. *Water Resources Research*, *26*(10), 2257-2265. https://doi.org/10.1029/WR026i010p02257

Cervantes-Osornio, R., Arteaga-Ramírez, R., Vázquez-Peña, M. A., & Ojeda-Bustamante, W. (2023). Calidad de datos de estaciones meteorológicas automáticas ubicadas en tres estados de México. *Tecnología y ciencias del agua*, *14*(1), 432-469. https://doi.org/10.24850/j-tyca-14-01-10

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Conagua, Comisión Nacional del Agua. (2019). *Datos climatológicos CLICOM*. https://cucapa-clicom.cicese.mx/

Domínguez, R., Carrizosa, E., Fuentes, G. E., Arganis, M. L., Osnaya, J., & Galván-Torres, A. E. (2018). Análisis regional para estimar las precipitaciones de diseño en la república mexicana. *Tecnología y ciencias del agua*, *9*(1), 5-29. https://doi.org/10.24850/j-tyca-2018-01-01

EPA, Environmental Protection Agency. (2021). *Best practices for review and validation of ambient air monitoring data (EPA-454/B-21-007)*. https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/P1013CPT.PDF?Dockey=P1013CPT.PDF

García-Marín, A., Roldán-Cañas, J., Estévez, J., Moreno-Pérez, F., Serrat-Capdevila, A., González, J., Francés, F., Olivera, F., Castro-Orgaz, O. & Giráldez, J. V. (2014). La hidrología y su papel en ingeniería del agua. *Ingeniería del Agua*, *18*(1), 1-14. https://doi.org/10.4995/ia.2014.3048

Gobierno del Distrito Federal. (2003, 2 de diciembre). *Decreto por el que se declara como área de valor ambiental del Distrito Federal al Bosque de Chapultepec*. Gaceta Oficial del Distrito Federal. https://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/uploads/public/595/15d/70c/59515d70c473b673777237.pdf

Hidalgo-Navarro, M. (2011). *Metodología para la validación de datos de calidad del aire generados por una red de monitoreo automático* (Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México). Repositorio Institucional UNAM. https://hdl.handle.net/20.500.14330/TES01000667922

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Kuehl, R. O. (2001). *Diseño de experimentos: principios estadísticos de diseño y análisis de la investigación* (2ª ed.). Thomson Editores.

Minitab. (2019). *Identificar valores atípicos*. Soporte técnico de Minitab. https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/statistics/basic-statistics/supporting-topics/data-concepts/identifying-outliers/

Núñez-González, G., & García-Suárez, J. (2018). Análisis de la calidad de los datos y la tendencia de algunos índices de precipitación en Jalisco. *Realidad, Datos y Espacio. Revista Internacional de Estadística y Geografía*, *9*(2), 14-27. https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463856771

SMN, Servicio Meteorológico Nacional. (2024). *Normales climatológicas por estado*. Comisión Nacional del Agua. https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/normales-climatologicas-por-estado

Veiga, H., Herrera, N., Skansi, M., & Podestá, G. (2015). *Descripción de controles de calidad de datos climáticos diarios implementados por el Centro Regional del Clima para el Sur de América del Sur* (reporte técnico CRC-SAS-2014-001). Centro Regional del Clima para el Sur de América del Sur. https://www.crc-sas.org/es/pdf/reporte_tecnico_CRC-SAS-2014-001.pdf

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)