

# ESTIMACIÓN DE DATOS FALTANTES DE PRECIPITACIÓN MEDIANTE VARIABILIDAD CLIMÁTICA ESTACIONAL

## ESTIMATION RAINFALL MISSING DATA USING SEASONAL CLIMATE VARIABILITY

## ESTIMAR DOS DATOS DE PRECIPITAÇÃO EM FALTA USANDO A VARIABILIDADE CLIMÁTICA SAZONAL

**John Alexander Hernández Suárez**

<https://orcid.org/0000-0002-6926-7550>  
Fundación Universitaria de San Gil  
johnahernandez@unisangil.edu.co  
San Gil- Colombia

**Ángela María Salazar López**

<https://orcid.org/0000-0001-8747-162X>  
Fundación Universitaria de San Gil  
angelasalazar@unisangil.edu.co  
San Gil- Colombia

**Mauricio Andrés Ruiz-Ochoa**

<https://orcid.org/0000-0002-8374-41565>  
Unidades Tecnológicas de Santander  
mruiz@correo.uts.edu.co  
Bucaramanga- Colombia

Diseño y diagramación

**Sindy Catherine Charcas Ibarra**

Encuentre este artículo en: <http://revistas.uniminuto.edu/index.php/IYD>  
Para citar este artículo / To cite this article  
Hernández, J., Salazar, A., y Ruiz, M. (2022). Estimación de datos faltantes de precipitación mediante variabilidad climática estacional. *Inclusión & Desarrollo*, 9 (2), pp 78-88

Fecha de recepción: 4 de mayo de 2022  
Fecha de aceptación: 24 de julio de 2022  
Fecha de publicación: 1 de septiembre de 2022

eISSN: 2590-7700

ISSN: 2389-7341

Entidad editora y nacionalidad:

Corporación Universitaria Minuto de Dios -UNIMINUTO - Colombia.

Conflicto de intereses:

los autores han declarado que no existen intereses en competencia

## RESUMEN

**Objetivo.** Estimar los datos faltantes de la precipitación media mensual en el departamento de Casanare.

**Metodología.** Se revisó la información de estaciones climatológicas de precipitación media mensual descargadas del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), se calculó el ciclo estacional, y en caso de existir datos faltantes estos se completaron mediante el método estadístico de variabilidad climática estacional.

**Resultados.** De todas las estaciones climatológicas inventariadas, solo el 43 % se encuentra en funcionamiento, pero al revisar los datos se encontraron datos faltantes, así, los valores más bajos (altos) se presentaron en los municipios de Chámeza (Aguazul), correspondientes a 0.42% (40.14%), calculados de 1 (3) estaciones climatológicas. Por lo que, al aplicar el método estadístico de variabilidad climática estacional para completar los datos faltantes, se obtuvieron series de tiempo que no alteraban la dinámica natural de la variable analizada.

**Limitaciones.** Las limitaciones del trabajo estuvieron dadas por el acceso a la información del IDEAM.

**Originalidad.** En cuanto a la originalidad el trabajo no hace un mayor aporte, pero si responde a una temática trabajada en diferentes partes del país, pero que para el departamento de Casanare responde a información escasa.

**Conclusión.** Se concluye que para los municipios del departamento de Casanare se deberían tener todas sus estaciones en estado activo, y en lo posible con el menor porcentaje de datos faltantes, para que así se puedan realizar estudios más asertivos en cuanto a la variabilidad natural del clima.

**Palabras clave:** Casanare; climatología; datos climáticos; estadística; información ambiental.

## ABSTRACT

**Objective.** Estimate the missing data of the average monthly precipitation in the department of Casanare.

**Methodology.** The information from climatological stations of average monthly precipitation downloaded from the Institute of Hydrology, Meteorology and Environmental Studies (IDEAM) was reviewed, the seasonal cycle was calculated, and in case of missing data, these were completed using the seasonal climatic variability statistical method.

**Results.** Of all the climate stations inventoried, only 43% are in operation, but when reviewing the data, missing data were found, thus, the lowest values (high) were presented in the municipalities of Chámeza (Aguazul), corresponding to 0.42% (40.14%), calculated from 1 (3) climate stations. Therefore, by applying the seasonal climatic variability statistical method to complete the missing data, time series were obtained that did not alter the natural dynamics of the analyzed variable.

**Limitations.** The limitations of the work were due to the access to IDEAM information. **Originality.** In terms of originality, the work does not make a major contribution, but it does respond to a subject already worked on in different parts of the country, but which for the department of Casanare responds to scarce information.

**Conclusion.** It is concluded that the municipalities of the department of Casanare should have all their stations in active status, and as far as possible with the lowest percentage of missing data, so that more assertive studies can be carried out regarding the natural variability of the climate.

**Keywords:** Casanare; climatology; climatic data; statistics; environmental information.

## SUMARIO

**Objetivo.** Estimar os dados em falta sobre a média mensal de chuvas no departamento de Casanare.

**Metodologia.** Os dados das estações climáticas de precipitação média mensal baixada do Instituto de Hidrologia, Meteorologia e Estudos Ambientais (IDEAM) foram revisados, o ciclo sazonal foi calculado e, no caso de faltarem dados, estes foram completados usando o método estatístico de variabilidade climática sazonal.

**Resultados.** De todas as estações climáticas inventariadas, apenas 43% estão em operação, mas ao revisar os dados, foram encontrados dados ausentes, portanto, os valores mais baixos (altos) foram apresentados nos municípios de Chámeza (Aguazul), correspondendo a 0.42% (40.14%), calculados a partir de 1 (3) estações climáticas. Portanto, aplicando o método estatístico de variabilidade climática sazonal para completar os dados em falta, foram obtidas séries temporais que não alteraram a dinâmica natural da variável analisada.

**Limitações.** As limitações do trabalho foram dadas pelo acesso às informações do IDEAM.

**Originalidade.** Em termos de originalidade, o trabalho não dá uma contribuição importante, mas responde a um tema que já foi trabalhado em diferentes partes do país, mas para o departamento de Casanare ele responde a informações escassas.

**Conclusão.** Conclui-se que os municípios do departamento de Casanare devem ter todas as suas estações em estado activo, e na medida do possível com a menor percentagem de dados em falta, para que possam ser realizados estudos mais assertivos sobre a variabilidade natural do clima.

**Palavras-chave:** Casanare; climatologia; dados climáticos; estatísticas; informação ambiental.

## Introducción

Dentro del estudio del clima es común referirse a elementos climatológicos, los cuales incluyen desde presión atmosférica, temperatura, humedad, brillo solar hasta vendavales, bruma y tormentas eléctricas, con quienes se puede definir el estado físico del clima (Montealegre y Pabón, 2000; Pabón, 2003). No obstante, cuando es posible obtener valores de estos elementos, por medio de mediciones o registros con estaciones meteorológicas ubicadas en puntos estratégicos del territorio, éstos ya pasan a ser llamados variables climáticas (Guevara *et al.*, 2014). En este contexto, las variables climáticas de precipitación y temperatura son las más importantes por cuanto permiten definir, clasificar y zonificar el clima de una región dada (Castro García y Sosa Rico, 2017). Por lo tanto, para este trabajo se escogió como variable climática la precipitación porque dentro del balance hidrológico de una cuenca, es la variable de entrada, y es la única manera mediante la cual las fuentes hídricas superficiales y subterráneas se alimentan (Poveda, 2004; Jaswal *et al.*, 2014).

En este sentido, la precipitación desencadena fenómenos naturales como escorrentías, desbordamiento de ríos, socavamientos, deslizamientos, inundaciones, inestabilidad de taludes, entre otros, los cuales pueden ser considerados un problema para la planificación de obras civiles (Ardila *et al.*, 2020). Además, las interacciones entre sectores como, por ejemplo, agricultura, silvicultura y agua, con la precipitación son importantes porque podrían ayudar a determinar los impactos del cambio climático (Challinor *et al.*, 2018). De hecho, la evaluación de la variabilidad espacio-temporal de la precipitación es crucial para el monitoreo de sequías e inundaciones y una mayor comprensión de la dinámica de la precipitación (Torres-Batló y Martí-Cardona, 2020). Por lo tanto, mediante el análisis de la información histórica se pueden detectar, a través de los años, importantes fluctuaciones, por encima o por debajo de lo normal, en el comportamiento de las temporadas secas o lluviosas, en la región o departamento a estudiar (Montealegre y Pabón, 2000; Poveda, 2004).

Para la región de estudio, departamento de Casanare, se conoce que la precipitación es monomodal debido a que tiene un máximo anual que inicia en marzo, y se prolonga hasta finales de noviembre y principios de diciembre (Esquivel *et al.*, 2018). Dicho comportamiento se presenta por la influencia de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), ya que en este lapso de tiempo se desplaza hacia su posición más norte. Y, por lo tanto, la temporada de menor precipitación, ocurre generalmente entre los meses de diciembre, enero y febrero cuando la ZCIT se encuentra en el sur y no ejercerá influencia en este periodo de tiempo (Montealegre y Pabón, 2000; Pabón, 2003; Poveda, 2004). Además, la precipitación que se presenta en el departamento presenta los siguientes aspectos: el área más lluviosa está ubicada entre el piedemonte y la

vertiente baja de la cordillera, con promedios superiores a 4,000 mm; una franja de lluvias intermedias se sitúa en las vertientes medias de la cordillera y en el área central con precipitaciones mayores a 2,000 mm. El área menos húmeda, al este del departamento y en las cumbres de la cordillera registra promedios anuales inferiores a 2,000 mm (Guevara *et al.*, 2014).

En un contexto asertivo para la toma de decisiones, en las que se involucren acciones climáticas, se requieren datos sin faltantes, sobre todo, porque esto implicaría planificar bajo escenarios de incertidumbre (Rodríguez *et al.*, 2016) Así, el dato es la evidencia de las dinámicas climáticas naturales. Por lo tanto, para dar aplicabilidad a lo anterior, se requiere: seleccionar una o varias variables climáticas (precipitación, temperatura, humedad relativa, entre otras), revisar que no existan faltantes, un periodo de tiempo y una región de estudio determinada (Ablan *et al.*, 2008; Alfaro y Soley, 2009; Castro García y Sosa Rico, 2017). De este modo, se realizó un análisis de los datos faltantes de la variable precipitación mensual en diferentes periodos de tiempo, en 32 estaciones climatológicas del departamento de Casanare, los cuales, posteriormente fueron rellenados mediante el promedio mensual multianual (método estadístico de variabilidad climática estacional), dado que este método no altera la dinámica natural del clima, con lo que se permite disminuir la incertidumbre de los datos (Alfaro y Soley, 2009; Guevara, 2003; Ortiz, 2016).

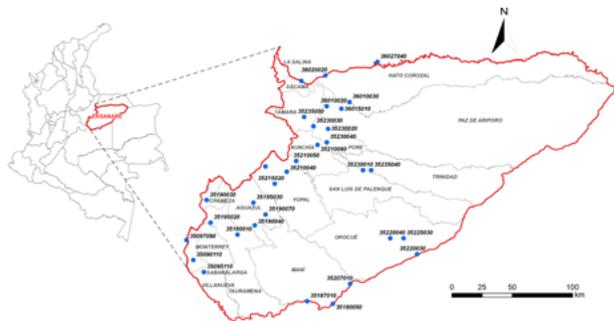
En cuanto a las metodologías para el relleno de datos faltantes, Alfaro y Soley (2009) mencionan que, existen dos maneras de lograr este objetivo, así: a) correlación de datos de una misma variable entre estaciones climatológicas cercanas y en periodo de tiempo comunes, con lo cual los valores rellenados dan cuenta de los fenómenos de mayor escala a partir de la información de las estaciones cercanas (Guevara, 2003; Poveda y Álvarez, 2012; Herrera-Oliva *et al.*, 2017), y b) cuando no hay estaciones cercanas y el relleno se debe hacer con la información de la misma estación (Puertas *et al.*, 2011; Ortiz, 2016), situación que aplica para el departamento de Casanare, y que se tuvo en cuenta en este artículo.

## Metodología

El análisis de datos faltantes de precipitación se trabajó para el departamento de Casanare, el cual se encuentra localizado geográficamente entre 4°17'25" - 06°20'45" latitud Norte y 69°50'22" - 73°04'33" longitud Oeste. De esta manera, a partir de datos diarios, obtenidos de estaciones climatológicas (Fig. 1) recopiladas por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), disponibles en: <http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>, se realizó integración de la escala temporal a mensual, para diferentes periodos de tiempo. Así, con la información de 32 estaciones

climatológicas se realizó un inventario, se descargaron los datos para todo el periodo de tiempo registrado (a Junio de 2021), se revisó la existencia de datos faltantes, y se calculó su porcentaje, integrado por municipio.

**Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio con las estaciones climatológicas del departamento de Casanare.**



Fuente: elaboración propia (2022).

Con los datos mensuales de las series de tiempo, se calculó el promedio mensual multianual y se construyó el ciclo estacional de la variabilidad climática, lo que al final constituye la base del método estadístico de variabilidad climática para datos faltantes, aplicado en este trabajo. De este modo, el método es un procedimiento confiable que permite solucionar el problema y consiste en reemplazar el dato faltante por el promedio mensual multianual correspondiente, y con ello, no se altera la estacionalidad, es decir, la variabilidad climática natural se mantiene a lo largo del tiempo (Puertas *et al.*, 2011; Ortiz, 2016; Russi y Larrahondo, 2017). En este caso, se usó como ejemplo, la estación climatológica Aguazul (35195030) para el periodo de tiempo 2000-2021, dado que a partir del año 2000, es cuando se presentan datos faltantes en la serie de tiempo.

Para todos los análisis y el almacenamiento de la información se utilizó Microsoft Excel. Además, se debe mencionar que el trabajo desarrollado se enmarca en una investigación de tipo cuantitativo con enfoque correlacional descriptivo.

## Resultados

### Análisis de datos faltantes

Al momento de revisar la información se encontró que en varias de las estaciones climatológicas aparecen datos faltantes, con especial atención en los municipios de Maní, Nunchía, Sabanalarga, Támara, y Tauramena cuyo porcentaje es superior al 13%. Por lo anterior, y en específico para los 19 municipios que conforman el área de estudio, y teniendo en cuenta el 43% de las estaciones activas, se realizó un análisis a partir del

porcentaje de datos faltantes, y el número de meses sin información, con los siguientes resultados (Tabla. 1):

**Tabla 1.**

Relación de las estaciones climatológicas por municipio en función del número de meses, el número de meses faltantes y el porcentaje de datos faltantes con fecha de corte a junio de 2021.

MUNICIPIO	No. ESTACIONES	CÓDIGO DE LA ESTACIÓN	NOMBRE DE LA ESTACIÓN	PERIODO	No. MESES	No. MESES FALTANTES	% DATOS FALTANTES
Aguazul	3	35195030	Aguazul	Ene./1978	522	23	4.4%
		35190070	San José	Feb./1972	593	28	4.7%
		35190040	Tamarindo	Dic./1974	559	106	19.0%
<b>Total</b>						<b>9.4%</b>	
Chámeza	1	35190030	Chámeza	Nov./1974	560	14	2.5%
Hato Corozal	3	36020020	La Cabuya	Feb./1984	449	35	7.8%
		36027040	San Salvador	Feb./1984	215	20	9.3%
		36010030	Santa Rita	Nov./1995	308	26	8.4%
<b>Total</b>						<b>8.3%</b>	
Maní	3	35207010	La Patagonia	Jun./1983*	92	17	18.5%
		35187010	La Poyata	Jun./1983	457	42	9.2%
		35180050	Puerto Texas	Jun./1983	457	88	19.3%
<b>Total</b>						<b>14.6%</b>	
Nunchía	1	35210060	Hacienda El Desecho	Dic./1995	307	86	28.0%
Orocué	3	35220040	Macucuna	Oct./1983	433	19	4.4%
		35225030	Módulos AUT	Oct./1978	513	44	8.6%
		35220030	Orocué	Abr./1979	507	37	7.3%
<b>Total</b>						<b>6.9%</b>	
Paz de Ariporo	2	36010020	La Aguada	Dic./1995	307	25	8.1%
		36015010	Paz De Ariporo	Sep./1990	370	4	1.1%
<b>Total</b>						<b>4.3%</b>	
Por	2	35230040	El Banco	Dic./1995	307	14	4.6%
		35230020	Por	Sep./1990	370	30	8.1%
<b>Total</b>						<b>6.5%</b>	
Sabalarga	2	35090110	Don Antonio	Oct./1968	632	130	20.6%
		35097090	La Reventora	Dic./1983	451	13	2.9%
<b>Total</b>						<b>13.2%</b>	
Sácama	1	36020010	Puente Quemado	Feb./1984	449	26	5.8%
San Luis de Palenque	1	35230010	San Luis	Nov./1974	559	1	0.2%
Támara	2	35230030	Tablón de Támara	Oct./1960	726	102	14.0%
		35235050	Támara AUT	Nov./1995	308	54	17.5%
<b>Total</b>						<b>15.1%</b>	
Tauramena	2	35180010	La Pradera	Nov./1974	560	43	7.7%
		35195020	Tauramena	Oct./1960	729	136	18.7%
<b>Total</b>						<b>13.9%</b>	
Trinidad	1	35235040	Trinidad AUT	May./1996	302	0	0.0%
Villanueva	1	35095110	Huerta La Grande	Ene./1995	318	4	1.3%
Yopal	4	35215020	Aeropuerto	Dic./1974	558	50	9.0%
		35210010	El Morro	Nov./1974	560	23	4.1%
		35210050	La Chaparrera	Dic./1995	307	0	0.0%
		35210040	Molinos de Casanare	Nov./1995	308	36	11.7%
<b>Total</b>						<b>6.3%</b>	
<b>No. Total de Estaciones</b>						<b>32</b>	

Fuente: elaboración propia (2022).

**Aguazul:** Cuenta con tres estaciones climatológicas y el porcentaje de datos faltantes, oscila entre 4.4 y 19.0% (Fig. 2a), lo que en el total representa el 9.4%. En el municipio, la estación con menor porcentaje de datos faltantes es Aguazul (35195030) con un 4.4% (23 meses sin registro de precipitación).

**Chámeza:** Sólo cuenta con una estación climatológica, activa desde noviembre de 1974. En este caso, el porcentaje de datos faltantes representa el 2.5% (14 meses sin registro de precipitación).

**Hato Corozal:** El municipio cuenta con tres estaciones climatológicas cuyos porcentajes de datos faltantes oscilaron entre 7.8 y 9.3%, lo que representa el 8.3%. Dentro de estas, en la estación La Cabuya (36020020) se registró el menor porcentaje de datos faltantes con 7.8% (35 meses sin registro de precipitación).

**Maní:** Dispone de información de tres estaciones climatológicas todas ubicadas a la rivera del río Meta en los límites entre Casanare y Meta. El porcentaje de datos faltantes osciló entre 9.2 y 19.3%. Así, al analizar los datos de la estación La Poyata (35187010) se encontró que en esta se registran los valores más bajos, asociados a 9.2% (42 meses sin registro de precipitación). Para el municipio el porcentaje del total de datos faltantes es 14.6%.

**Nunchía:** Para este municipio, el IDEAM sólo ofrece información climatológica para la estación Hacienda El Desecho (35210060), y el porcentaje de datos faltantes es 28.0% (86 meses sin registro de precipitación).

**Orocué:** En Orocué se encuentran ubicadas tres estaciones climatológicas, cuyos porcentajes de datos faltantes son inferiores al 10%. En el análisis se encontró que la estación Macucuana (35220040) que se encuentra ubicada a la ribera del río Meta, es donde se registra el menor porcentaje de datos faltantes, con 4.4% (19 meses sin registro de precipitación). Por otra parte, el porcentaje de datos faltantes del municipio es 6.9%.

**Paz de Ariporo:** Cuenta con dos estaciones climatológicas con un porcentaje de datos faltantes entre 1.1 y 8.1%, en donde la estación Paz de Ariporo (36015010) presenta el menor porcentaje de datos faltantes con 1.1% (4 meses sin registro de precipitación). A su vez, el aporte del municipio en el cálculo del porcentaje de datos faltantes, es 4.3%.

**Por:** Tiene dos estaciones climatológicas, y el porcentaje de datos faltantes oscila entre 4.6 y 8.1%. A su vez, el menor porcentaje de datos faltantes corresponde a la estación El Banco (35230040) con valor de 4.6% (14 meses sin registro de precipitación). Por su parte, en el municipio el porcentaje de datos faltantes fue 6.5%.

**Sabanalarga:** Para Sabanalarga existen dos estaciones climatológicas cuyo porcentaje de datos faltantes oscila entre 2.9 y 20.6%. De ellas, para la estación La Reventona (35097090), los datos analizados presentaron un faltante del 2.9% (13 meses sin registro de precipitación), mientras que, para el municipio el porcentaje de datos faltantes es 13.2%.

**Sácama:** El municipio cuenta solo con una estación climatológica, ubicada cerca de la ribera del río Casanare llamada Puente Quemado (36020010), cuyo porcentaje de datos faltantes responde al 5.8% (18 meses sin registro de precipitación).

**San Luis de Palenque:** Tiene una sola estación climatológica ubicada en el casco urbano del municipio llamada San Luis de Palenque (35230010), y para la cual el porcentaje de datos faltantes es 0.2% (1 mes sin registro de precipitación), siendo esta estación la de menor valor en todo el análisis de la información.

**Támara:** El municipio cuenta con dos estaciones climatológicas, cuyos porcentajes de datos faltantes oscilaron entre 14.0 y 17.5%. Así, en función del valor más bajo en el porcentaje, se tiene la estación Tablón de Támara (35230030) con 14.0% (102 meses sin registro de precipitación). Por su parte, el porcentaje de datos faltantes del municipio corresponde a 15.1%.

**Tauramena:** El municipio de Tauramena cuenta con dos estaciones climatológicas cuyos porcentajes de datos faltantes oscilaron entre 7.7 y 18.7%. De estas, se analizó la estación La Pradera (35180010) con porcentaje de datos faltantes igual a 7.7% (43 meses sin registro de precipitación), que para el municipio representa el 13.9%.

**Trinidad:** La estación climatológica que se analizó para el municipio se encuentra dentro del casco urbano y es la única que existe, Trinidad AUT (35235040). Dentro del porcentaje de datos faltantes se evidenció que no existen meses sin registro, lo cual se corresponde con un valor de 0.0%.

**Villanueva:** El municipio de Villanueva solo cuenta con una estación climatológica llamada Huerta La Grande (35095110), con un porcentaje de datos faltantes igual a 1.3 (4 meses sin registros de precipitación).

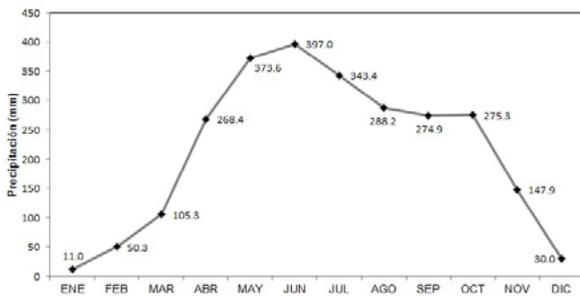
**Yopal:** La capital del departamento de Casanare cuenta con cuatro estaciones climatológicas, y los porcentajes de datos faltantes oscilaron entre 0.0 y 11.7%. La estación con el porcentaje más bajo corresponde a La Chaparrera (35210050) con 0.0%, lo que indica que para todo el periodo de tiempo se tienen registros de precipitación. Para el municipio, el porcentaje de datos faltantes se ubica en 6.3%.

Teniendo en cuenta lo anterior, se puede decir que para las estaciones climatológicas Trinidad AUT (35235040) y La Chaparrera (35210050), localizadas en los municipios de Trinidad y Yopal, respectivamente, no existen meses sin registros, por lo que, la aplicación del método estadístico de variabilidad climática estacional, para rellenar los datos faltantes de las series de tiempo, no tomaría importancia, para todas las demás si se realizó su aplicación.

## Aplicación del método estadístico de variabilidad climática estacional

En cuanto a la aplicación del método estadístico para rellenar datos faltantes en función de la variabilidad climática estacional, se tomó como ejemplo la estación climatológica Aguazul (35195030) localizada en el municipio de Aguazul, para la cual se calculó el promedio mensual multianual y con este, se construyó ciclo estacional, tal como se puede observar en la Figura 2.

**Figura 2. Ciclo estacional de la precipitación para la estación climatológica Aguazul (35195030) localizada en el municipio Aguazul.**



Fuente: elaboración propia (2022).

Ahora, teniendo en cuenta que para esta estación climatológica a partir del año 2000, se presentan 23 meses sin registro de precipitación (Tabla. 2), se aplicó la metodología descrita, rellenando estos datos con el promedio mensual multianual (Tabla. 3). Así, al verificar el cálculo del promedio se encuentra que éste no se altera, y por lo tanto, la variabilidad climática estacional tampoco. De este modo, se tiene una serie de tiempo completa que puede ser usada en diferentes aplicaciones ambientales e ingenieriles.

**Tabla 2**

Tabla 2. Registros de precipitación con datos faltantes de la estación Aguazul (35195030) localizada en el municipio de Aguazul, para el periodo 2000-2021.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2000	34.3	72.0	141.5	146.2	432.3	274.6	306.5	424.2	336.6	319.5	0.0	
2001												32.0
2002	2.2	2.1	305.7	332.8	334.0	593.1	433.4	581.1	467.1	196.9	153.3	92.2
2003	0.0	0.0	117.5	425.2	418.7		249.2	183.2	473.4	258.9	243.3	52.8
2004	0.0	20.5	125.8	451.8	626.4	351.0	382.8	441.7	464.9			
2005	18.0	91.0	3.6	213.1		276.4	178.0	274.1	325.6	203.3	150.5	8.6
2006		0.0	191.0	134.7	532.3	561.6	303.2	474.9	194.9	255.9	302.1	18.2
2007	0.0	31.2	291.0	296.9	689.8	341.6	257.0	228.7	378.6	435.0	62.1	68.3
2008	3.3	8.7	35.0	237.3	483.1	620.4	414.5	248.1	393.1	183.4	253.9	1.4
2009	54.3	27.3	95.7	283.7	291.8	707.1	316.2	470.9	141.7	254.8	57.7	0.9
2010	0.0	24.7	201.4	170.4	453.3	433.8	169.1	169.1	170.9	344.3	200.1	81.4
2011	25.5	94.1	26.1	471.7	625.5	347.3	321.3	242.4	457.9	380.0	292.9	74.9
2012	0.0	9.2	296.4	392.0	282.5	310.3	449.9	396.6	185.5	408.7	183.5	71.5
2013	0.0	26.6	122.0	282.1	334.3	313.6	484.8	269.7	288.4	255.8	273.4	18.6
2014	0.3	79.8	13.7	242.7	411.8	350.1	429.7	290.9	223.5	277.9	69.2	24.8
2015	17.5	17.3	50.9	292.1	228.2	309.8	430.2	274.1	339.4	242.3	215.2	40.2
2016	0.0	6.7	151.8	419.0	245.9	340.5	590.3	321.2	520.2	228.6	249.9	65.8
2017	21.8	116.9	254.2	312.9	376.6	532.4	230.1	212.9	360.4	242.1	136.6	5.9
2018	54.6	1.3	143.7	257.5	359.0	399.0	358.0	272.7	201.7	227.2	96.1	0.0
2019	0.0	0.0	129.7	225.3	519.0	373.5	230.9	264.3	142.2	279.4	216.5	31.9
2020	6.8	7.8	7.0	268.4	373.6	397.0	343.4	288.2	235.6	378.0	544.4	59.1
2021	52.8	0.6	91.7	192.1	251.4	8.0						
Promedio	11.0	50.3	105.3	268.4	373.6	397.0	343.4	288.2	274.9	275.3	147.9	30.0

Fuente: elaboración propia (2022).

**Tabla 3.**

Tabla 3. Registros de precipitación sin datos faltantes de la estación Aguazul (35195030) localizada en el municipio de Aguazul, para el periodo 2000-2021.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2000	34.3	72.0	141.5	146.2	432.3	274.6	306.5	424.2	336.6	319.5	0.0	30.0
2001	11.0	50.3	105.3	268.4	373.6	397.0	343.4	288.2	274.9	275.3	147.9	32.0
2002	2.2	2.1	305.7	332.8	334.0	593.1	433.4	581.1	467.1	196.9	153.3	92.2
2003	0.0	0.0	117.5	425.2	418.7	397.0	249.2	183.2	473.4	258.9	243.3	52.8
2004	0.0	20.5	125.8	451.8	626.4	351.0	382.8	441.7	464.9	275.3	147.9	30.0
2005	18.0	91.0	3.6	213.1	373.6	276.4	178.0	274.1	325.6	203.3	150.5	8.6
2006	11.0	0.0	191.0	134.7	532.3	561.6	303.2	474.9	194.9	255.9	302.1	18.2
2007	0.0	31.2	291.0	296.9	689.8	341.6	257.0	228.7	378.6	435.0	62.1	68.3
2008	3.3	8.7	35.0	237.3	483.1	620.4	414.5	248.1	393.1	183.4	253.9	1.4
2009	54.3	27.3	95.7	283.7	291.8	707.1	316.2	470.9	141.7	254.8	57.7	0.9
2010	0.0	24.7	201.4	170.4	453.3	433.8	169.1	169.1	170.9	344.3	200.1	81.4
2011	25.5	94.1	26.1	471.7	625.5	347.3	321.3	242.4	457.9	380.0	292.9	74.9
2012	0.0	9.2	296.4	392.0	282.5	310.3	449.9	396.6	185.5	408.7	183.5	71.5
2013	0.0	26.6	122.0	282.1	334.3	313.6	484.8	269.7	288.4	255.8	273.4	18.6
2014	0.3	79.8	13.7	242.7	411.8	350.1	429.7	290.9	223.5	277.9	69.2	24.8
2015	17.5	17.3	50.9	292.1	228.2	309.8	430.2	274.1	339.4	242.3	215.2	40.2
2016	0.0	6.7	151.8	419.0	245.9	340.5	590.3	321.2	520.2	228.6	249.9	65.8
2017	21.8	116.9	254.2	312.9	376.6	532.4	230.1	212.9	360.4	242.1	136.6	5.9
2018	54.6	1.3	143.7	257.5	359.0	399.0	358.0	272.7	201.7	227.2	96.1	0.0
2019	0.0	0.0	129.7	225.3	519.0	373.5	230.9	264.3	142.2	279.4	216.5	31.9
2020	6.8	7.8	7.0	268.4	373.6	397.0	343.4	288.2	235.6	378.0	544.4	59.1
2021	52.8	0.6	91.7	192.1	251.4	8.0						
Promedio	11.0	50.3	105.3	268.4	373.6	397.0	343.4	288.2	274.9	275.3	147.9	30.0

Fuente: elaboración propia (2022).

## Discusión

Se hace necesario evaluar los datos faltantes para poder realizar un estudio serio y coherente con respecto a los registros históricos, y así minimizar el riesgo de datos erróneos (Toro *et al.*, 2015). También se pueden establecer modelos de captación de datos en las estaciones meteorológicas, que permita la no pérdida de información, el fácil acceso a una base más ordenada, por medio de un hardware que se adapte a las necesidades reales de las estaciones meteorológicas (Ruiz-Ayala *et al.*, 2018). Todo esto es importante con el fin de lograr una recolección concreta de todos los datos de las estaciones meteorológicas con las que cuenta el departamento del Casanare y los municipios que se encuentran a su alrededor con información, para poder establecer un análisis de los procesos hidrológicos bajo un contexto de cambio climático, que permita identificar e interpretar las evidencias del mismo en Colombia (Hurtado y Meza, 2015; Ortiz *et al.* 2017). De igual manera, se debe disponer de gran información en el tiempo para evaluar los métodos que se han implementado en la estadística de los datos meteorológicos, ya que los cambios generados en los balances de los datos a través del tiempo han generado gran impacto (Poveda y Álvarez, 2012).

Ahora, la importancia de la precipitación en el ciclo hidrológico contrastada con la escasa información recolectada en campo en Colombia, y en particular para el caso de estudio, es motivo de preocupación. Por lo que se destaca la importancia de considerar diferentes fuentes de información a la hora de abordar el estudio de precipitaciones en el día a día, con el fin de obtener una caracterización espacio-temporal integral y tener en cuenta también la incertidumbre observacional (Olmo *et al.*, 2020). Además, la variabilidad temporal de la precipitación influye en múltiples actividades humanas, sobre todo en la gestión y manejo de los recursos hídricos, la prevención de inundaciones y sequías, la planificación y operación de actividades agrícolas, la generación hidroeléctrica y el abastecimiento de agua a la población humana (Ablan *et al.*, 2008). Por consiguiente, regiones como las llanuras orientales y las estribaciones de Colombia tienen un alto riesgo de variabilidad climática y se prevé que las lluvias aumentarán en el futuro (González-Orozco *et al.*, 2020). Para este ejercicio en particular, la disponibilidad incompleta de la base de datos de Precipitación, es uno de los factores que introducen incertidumbre y dificultad en el entendimiento de la distribución espacio-temporal de la variable en discusión (Poveda *et al.*, 2002).

Uno de los problemas que frecuentemente se encontró al analizar los datos de las estaciones pluviométricas fue la existencia de datos faltantes en las series de tiempo registradas (Cortés, 2006; Herrera-Oliva *et al.*, 2017). Por lo que la representatividad de datos depende en gran medida de dos factores: la ubicación de las estaciones y el proceso de selección de estas (Rosmann *et al.*, 2016). Adicional a ello, se debe aclarar que, en la mayoría de los casos al ser datos tratados y obtenidos de manera automatizada y remota, es común encontrar valores faltantes en estos, que no se pueden recuperar de alguna manera. Adicionalmente, existen fallas en la recolección de datos, los cuales pueden ser errados o salidos de contexto para el estudio realizado y que por ende deben ser imputados, y de dicho tratamiento depende que los pronósticos sean acertados (Herrera-Oliva *et al.*, 2017; Sánchez Quiroga, 2020). Así mismo, debe quedar claro que el método utilizado para la completación de datos en este trabajo, es incapaz de reproducir los datos perdidos porque este método permite rellenar las series con valores “razonables” que son consistentes con la estadística descriptiva (Alfaro y Soley, 2009).

Entonces, para este trabajo de series de tiempo, el método estadístico de variabilidad climática estacional es un procedimiento confiable que permite solucionar el problema de datos faltantes a partir de la estimación del promedio aritmético, los valores máximo y mínimo y la desviación estándar de la serie de tiempo. En este sentido, se rellenan los datos faltantes teniendo en cuenta el promedio obtenido

ya que no va a afectar la estacionalidad, puesto que se habla de que la serie es estacionaria porque la variabilidad se mantiene constante a lo largo del tiempo; por lo que no se aprecian aumentos o disminuciones en los valores (Russi y Larrahondo, 2017). Y dependiendo del grado de variabilidad climática entre años, se necesitan al menos 10-20 años de datos climáticos diarios para estimaciones confiables en la toma de decisiones (Van Wart *et al.*, 2015).

Por otra parte, los estudios meteorológicos requieren de datos sin observaciones faltantes, con el objetivo de encontrar cambios en las variables, realizar análisis de homogeneidad, aplicar metodologías de análisis multivariado, entre otros (Amaro *et al.*, 2004). Tener la serie de datos completa, permite realizar inferencias basadas en observaciones igualmente espaciadas, es decir, en observaciones que se encuentran en intervalos de tiempo regulares (Cardona *et al.*, 2013). Por lo que, es imprescindible que en toda investigación la etapa de recolección y procesamiento de los datos nos permita obtener resultados confiables ya que las conclusiones requieren que los datos garanticen confiabilidad y validez en la información analizada.

En cuanto al faltante de estaciones meteorológicas activas en el departamento de Casanare, es imprescindible, optar por nuevos escenarios y proyectos que permitan ejercer la implementación de nuevas estaciones, para que después sean incorporadas a la red de estaciones del IDEAM, apoyadas por las instituciones de investigación científica del departamento y del país (López, 2016).

## Conclusiones

El correcto tratamiento e interpretación de datos en los estudios de investigación climatológicos posibilita la planeación de procesos y el planteamiento de alternativas de solución para lograr reducir el grado de incertidumbre en la toma de decisiones en los distintos escenarios económicos, sociales, ambientales, entre otros. Por lo que, es de vital importancia aprovechar la información que se tiene disponible en la mayor posibilidad y disponer de técnicas confiables que permitan completar los datos faltantes que se presenten. De este modo, el método estadístico de variabilidad climática estacional presenta una ventaja al no alterar la dinámica natural del clima.

Los municipios del departamento de Casanare deberían tener todas sus estaciones activas, y los municipios que no tienen, deberían tener una, ya que la influencia de los faltantes en las diferentes estaciones no es la misma, lo que indica que, si hay mayor capacidad para obtener datos en diferentes puntos de una misma región, se pueden realizar estudios más asertivos en cuanto a la variabilidad del clima.

## Financiamiento

Los autores declaran que este artículo tiene como base el proyecto de investigación titulado “Influencia de la variabilidad climática asociada a la toma de decisiones en los sistemas de gestión hídrica, departamento de Casanare”, el cual es financiado por la Fundación Universitaria de

San Gil, dentro de la Séptima Convocatoria Interna de Investigación 2020 – 2021.

## Conflicto de intereses

Los autores declaramos que no existe conflictos de intereses en la publicación de este artículo.

## Referencias bibliográficas

Ablan, M., Rigoberto, A., Vargas, M., y Acevedo, M. (2008). Propuesta metodológica para el control de calidad de datos de precipitación. *Agronomía Tropical*, 58(1), 57-60.

Alfaro, E., y Soley, F.J. (2009). Descripción de dos métodos de rellenados de datos ausentes en series de tiempo meteorológicas. *Revista de Matemática: Teoría y Aplicaciones*, 16(1), 60-75.

Amaro, I.R., Demey, J., y Macchiavelli, R. (2004). Aplicación del análisis r/s de Hurst para estudiar las propiedades fractales de la precipitación en Venezuela. *Interciencia*, 29(11), 617-620.

Ardila, C., Gualdrón, A., y Plata, P. (2020). *Análisis del nivel de precipitaciones, mediante la elaboración de curvas IDF y mapas de isohietas para el estudio de climatología en el departamento de Casanare*. [Trabajo de fin de grado]. <http://hdl.handle.net/20.500.12494/28343>.

Cardona, D., González, J., Rivera, M., y Cárdenas, E. (2013). *Inferencia estadística Módulo de regresión lineal simple*. Facultad de Administración. Universidad del Rosario. <http://repository.urosario.edu.co/handle/10336/10447>.

Castro García, G., y Sosa Rico, M.D. (2017). Descripción de datos climatológicos para el periodo 2012-2015 en El Yopal (Casanare, Colombia). *Revista de Medicina Veterinaria*, 35, 73-81. <https://doi.org/10.19052/mv.4390>.

Chillini, A., Muller, C., Assent, S., Deva, Ch., Nicklin, K., Wallach, D., Vanuytrecht, E., Whitfield, S., Ramírez-Villegas, J., y Koehler, A.-K. (2018). Improving the use of crop models for risk assessment and climate change adaptation. *Journal of Agricultural Systems*, 159, 209-306. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.07.010>.

Cortés, M. (2006). *Análisis climático de sectores en los departamentos de Boyacá y Casanare y su alteración por fenómenos macroclimáticos y de cambio global*. [Trabajo de fin de máster]. <http://hdl.handle.net/1992/9342>.

Esquivel, A., Herrera-Llanos, L., Agudelo D., Prager, S., Fernández, K., Rojas, A., Valencia, J., y Ramírez-Villegas, J. (2018). Predictability of seasonal precipitation across major crop growing areas in Colombia. *Climate Services*, 12, 36-47. <https://doi.org/10.1016/j.cliser.2018.09.001>.

González-Orozco, C., Porcel, M., Alzáte, D., y Ordúz-Rodríguez, J. (2020). Extreme climate variability weakens a major tropical agricultural hub. *Ecological Indicators*, 111, 106015. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.106015>.

Guevara, J. (2003). *Métodos de estimación y ajuste de datos climáticos*. Imprenta Universidad Central de Venezuela, Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales, Dirección de Hidrología y Meteorología, Mérida.

Guevara, S., Landaeta, A., y Pineda, L. (2014). *Caracterización climatológica de un transecto del piedemonte del departamento de Casanare*. [Trabajo de fin de grado]. <http://hdl.handle.net/20.500.12494/14318>.

Herrera-Oliva, C., Campos-Gaytán, J., y Carrillo-González, F. (2017). Estimación de datos faltantes de precipitación por el método de regresión lineal: Caso de estudio Cuenca Guadalupe, Baja California, México. *Investigación y Ciencia de la Universidad Aguascalientes*, 25(71), 34-44.

Hurtado, A., y Meza, O. (2015). Cambio climático y la variabilidad espacio-temporal de la precipitación en Colombia. *Revista EIA*, 12(24), 131-150.

Jaswal, A.K., Kumar, N., y Khare, P. (2014). Climate variability in Dharamsala - a hill station in Western Himalayas. *Journal Indian Geophysic Union*, 18(3), 336-355.

López, G. (2016). Estación Meteorológica para la Conformación de Redes. Proceso de Instalación. *Scientia Et Technica*, 21(2), 115-121. <https://doi.org/10.22517/23447214.12691>.

- Montealegre, J., y Pabón, J. (2000). La variabilidad climática interanual asociada al ciclo El Niño-La Niña-Oscilación del sur y su efecto en el patrón pluviométrico de Colombia. *Meteorología Colombiana*, 2, 7-21.
- Olmo, M., Bettolli, M., y Rusticucci, M. (2020). Atmospheric circulation influence on temperature and precipitation individual and compound daily extreme events: Spatial variability and trends over southern South America. *Weather and Climate Extremes*, 29, 100267. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2020.100267>.
- Ortiz, A. (2016). Patrones de variabilidad climática asociados a los sistemas de gestión hídrica, subcuenca del río de Oro. [Tesis de Magíster]. Facultad de Química Ambiental, Universidad Santo Tomás-Colombia.
- Ortiz, A., Rodríguez, J., y Ruiz-Ochoa, M. (2017). Planificación y gestión de los recursos hídricos: una revisión de la importancia de la variabilidad climática. *Revista Logos Ciencia y Tecnología*, 9(1), 100-105.
- Pabón, J.D. (2003). El cambio climático global y su manifestación en Colombia. Cuadernos de Geografía: *Revista Colombiana de Geografía*, 12, 111-119.
- Poveda, G. (2004). La hidroclimatología de Colombia: una síntesis desde la escala inter-decadal hasta la escala diurna. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 28(107), 201-222.
- Poveda, G., y Álvarez, D.M. (2012). El colapso de la hipótesis de estacionariedad por cambio y variabilidad climática: implicaciones para el diseño hidrológico en ingeniería. *Revista de Ingeniería*, 36, 65-76.
- Poveda, G., Vélez, J., Mesa, O., Hoyos, C., Salazar, L., Mejía, J., Barco, O., y Correa, P. (2002). Influencia de fenómenos macroclimáticos sobre el ciclo anual de la hidrología colombiana: cuantificación lineal, no lineal y percentiles probabilísticos. *Meteorología Colombiana*, 6, 121-130.
- Puertas Orozco, O.L., Carvajal Escobar, Y., y Quintero Ángel, M. (2011). Estudio de tendencias de la precipitación mensual en la cuenca alta-media del río Cauca, Colombia. *Dyna*, 78(169), 112-120.
- Rodríguez, J.P., García, C.A., y Ruiz-Ochoa, M. (2016). Integration of the stationality climate variability to a model of hidric environmental planning. *International Journal of ChemTech Research*, 9(12), 278-284.
- Rosmann, T., Dominguez, E., y Chavarro, J. (2016). Comparing trends in hydrometeorological average and extreme data sets around the world at different time scales. *Journal of Hidrology: Regional Studies*, 5, 200-212. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2015.12.061>.
- Ruiz-Ayala, D.C., Vides-Herrera, C.A., y Pardo-García, A. (2018). Monitoreo de variables metereológicas a través de un sistema inalámbrico de adquisición de datos. *Revista de Investigación Desarrollo e Innovación*, 8(2), 333-341. <https://doi.org/10.19053/20278306.v8.n2.2018.7971>.
- Russi, J., y Larrahondo, E. (2017). *Comparación de métodos de estimación de datos faltantes en series de precipitación diaria en el Valle del Cauca*. [Trabajo de fin de grado]. <http://hdl.handle.net/10893/14419>.
- Sánchez Quiroga, L. (2020). *Estimación e imputación de datos faltantes mediante métodos de interpolación espacial para precipitación mensual acumulada en el departamento de Antioquia durante el periodo 2014-2018*. [Trabajo de fin de grado]. <http://hdl.handle.net/11634/22341>.
- Toro, A., Arteaga, R., Vázquez, M., y Ibáñez, L. (2015). Fill of daily series of precipitation, minimum and maximum temperature from the northern region of Urabá Antioquia. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(3), 577-588.
- Torres-Batló, J., y Martí-Cardona, B. (2020). Precipitation trends over the southern Andean Altiplano from 1981 to 2018. *Journal of Hidrology*, 590, 1254852. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125485>.
- Van Wart, J., Grassini, P., Yang, H., Claessens, L., Jarvis, A., y Cassman, K. (2015). Creating long-term weather data from thin air for crop simulation modeling. *Journal of Agricultural and Forest Meteorology*, 209-210, 49-58. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2015.02.020>.