

Análisis Estacional y Pronóstico Multivariado de la Precipitación Mensual en Jipijapa, Manabí, Utilizando Modelos ARIMA, ETS, NNAR y Prophet (2000-2024) Seasonal Analysis and Multivariate Forecasting of Monthly Precipitation in Jipijapa, Manabí, Using ARIMA, ETS, NNAR, and Prophet Models (2000-2024)

Bryan Alejandro Cruz-Macias^{1*} , José Luis Alcívar-Cobeña¹ , Julio Javier Jaramillo-Veliz¹ ,
Juan Manuel Guerrero-Calero¹  y Kevin Adrián Zambrano-Paz² 

¹ Universidad Estatal del Sur de Manabí. Av. Universitaria s/n, Sector Los Ángeles. 130401 Jipijapa, Manabí, Ecuador; (B.A.C.M.), (J.L.A.C.), (J.J.J.V.), (J.M.G.C.).

² Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón. Av. Chone y Calle 9 de Octubre, Sector Centro. 130850 El Carmen, Manabí, Ecuador; (K.A.Z.P.).

* Autor para correspondencia: bryan.cruz@unesum.edu.ec

RESUMEN

El presente trabajo analiza la variabilidad, estacionalidad y tendencia de la precipitación mensual en el cantón Jipijapa (Manabí, Ecuador), una zona vulnerable al cambio climático y a la escasez hídrica. La investigación se justifica por la ausencia de estudios detallados sobre la dinámica pluviométrica local, a pesar de su importancia para la planificación agrícola y la gestión del recurso hídrico. El objetivo general fue evaluar el comportamiento histórico de la precipitación entre 2000 y 2024 e implementar modelos estadísticos de pronóstico multivariado. Se utilizaron datos satelitales del portal POWER de la NASA y se aplicaron modelos de series temporales en el entorno RStudio, incluyendo ARIMA, ETS, NNAR y Prophet. Se evaluó la precisión predictiva mediante métricas como MAE, RMSE y MASE, así como la validación cruzada con el método rolling-origin y el test de Diebold-Mariano. Los resultados mostraron una fuerte estacionalidad con picos de precipitación entre enero y marzo, así como años con precipitaciones mensuales extremas asociadas a eventos El Niño (por ejemplo, los años 2012 y 2017). El test de Mann-Kendall no evidenció una tendencia significativa ($p = 0.866$), lo que indica estabilidad a largo plazo en los volúmenes de lluvia. Entre los modelos evaluados, ARIMA demostró mejor desempeño predictivo frente a NNAR ($p = 0.045$). Se concluye que la precipitación en Jipijapa responde a patrones altamente estacionales y modulados por fenómenos oceanográficos, por lo que el uso de modelos multivariantes con predictores climáticos resulta pertinente para fortalecer la gestión territorial y la adaptación climática local.

Palabras clave: cambio climático, error de predicción, series de tiempo, validación cruzada, variabilidad climática.

SUMMARY

The present study analyzes the variability, seasonality, and trend of monthly precipitation in Jipijapa Canton (Manabí, Ecuador), a region particularly vulnerable to climate change and water scarcity. This research is justified by the lack of detailed studies on local rainfall dynamics, despite their importance for agricultural planning and water resource management. The main objective was to evaluate the historical behavior of precipitation from 2000 to 2024 and implement comparative forecasting models. Satellite data from NASA's POWER platform were used, and the analysis was carried out entirely in RStudio using statistical and computational modeling techniques. Four time series models were applied—SARIMA, ETS, NNAR, and Prophet—and their forecasting accuracy was assessed using MAE, RMSE, and MASE metrics, as well as rolling-origin cross-validation and the Diebold-Mariano test. The results revealed



Cita recomendada:

Cruz-Macias, B. A., Alcívar-Cobeña, J. L., Jaramillo-Veliz, J. J., Guerrero-Calero, J. M., & Zambrano-Paz, K. A. (2026). Análisis Estacional y Pronóstico Multivariado de la Precipitación Mensual en Jipijapa, Manabí, Utilizando Modelos ARIMA, ETS, NNAR y Prophet (2000-2024). *Terra Latinoamericana*, 44, 1-12. e2383. <https://doi.org/10.28940/terralatinoamericana.v44i.2383>

Recibido: 19 de agosto de 2025.

Aceptado: 19 de diciembre de 2025.

Artículo. Volumen 44.

Marzo de 2026.

Editor de Sección:

Dr. Antonio Juárez-Maldonado

Editor Técnico:

Dra. Rosalía del Carmen Castelán Vega



Copyright: © 2026 by the authors.

Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC ND) License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

strong seasonality, with peak rainfall concentrated between January and March, and years of extreme precipitation linked to El Niño events (e.g., years 2012 and 2017). The Seasonal Mann-Kendall test indicated no statistically significant trend ($p = 0.866$), suggesting long-term stability in rainfall volumes. Among the evaluated models, ARIMA demonstrated superior predictive performance over NNAR ($p = 0.045$). It is concluded that precipitation in Jipijapa follows a highly seasonal regime, strongly influenced by ocean-atmospheric phenomena. Therefore, the use of multivariate forecasting models with climate predictors is appropriate for strengthening local climate adaptation strategies and territorial planning.

Index words: *climate change, prediction error, time series, cross-validation, climate variability.*

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la modificación de los patrones climáticos y el aumento de la variabilidad estacional se han consolidado como preocupaciones globales, especialmente en territorios costeros expuestos a eventos extremos. Estos cambios han sido documentados por organismos internacionales debido a su impacto sobre sistemas ambientales y socioeconómicos vulnerables.

En la región litoral del Ecuador, la susceptibilidad es alta por su interacción con eventos como El Niño y La Niña (IPCC, 2021; Lyon y Barnston, 2005). En este contexto, se ha señalado que las alteraciones en el régimen de lluvias afectan sectores estratégicos como el agropecuario, con implicaciones sobre la disponibilidad de agua y la estabilidad de los ecosistemas (Flores y Arias, 2024; INAMHI, 2019). Además, la influencia combinada de forzantes oceánicos y atmosféricos, como la Oscilación Decadal del Pacífico, contribuye a una variabilidad significativa de la precipitación a lo largo del tiempo (Campozano, Robaina y Samaniego, 2020; Thielen *et al.*, 2023).

En particular, la ciudad de Jipijapa, en la provincia de Manabí, presenta un escenario de alta vulnerabilidad climática. Sin embargo, la cobertura de estaciones meteorológicas es escasa y discontinua, lo que limita la caracterización de sus patrones de precipitación (INAMHI, 2019; Chuim y Veliz, 2023). Esta limitación dificulta el diseño de medidas de adaptación y gestión hídrica. En consecuencia, resulta pertinente aplicar modelos de pronóstico basados en datos satelitales que permitan suplir los vacíos de monitoreo local.

Para abordar esta problemática, el presente estudio busca responder las siguientes interrogantes: ¿Cuáles son los patrones de variabilidad y estacionalidad de la precipitación mensual en Jipijapa? y ¿Qué modelos predictivos resultan más eficaces para anticipar su comportamiento futuro? En este contexto, el objetivo general consiste en examinar la dinámica temporal de la precipitación mensual en la ciudad de Jipijapa durante el periodo 2000–2024, integrando herramientas estadísticas y computacionales para detectar tendencias, evaluar la estacionalidad e implementar modelos de pronóstico como SARIMA, ETS, NNAR y Prophet. Para ello, se utilizaron datos climáticos satelitales de la plataforma NASA POWER, que permiten compensar la escasez de registros locales y brindar una base técnica sólida para la toma de decisiones frente a la variabilidad climática.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, de tipo aplicado, con un diseño no experimental y de carácter longitudinal-retrospectivo. El estudio tuvo como objetivo analizar la dinámica temporal de la precipitación mensual en la ciudad de Jipijapa, provincia de Manabí (Ecuador), durante el periodo 2000–2024, mediante herramientas de análisis estadístico y modelado de series temporales.

Área de Estudio y Fuentes de Datos

El análisis se centró en la ciudad de Jipijapa, una zona geográficamente ubicada en el sur de la provincia de Manabí, caracterizada por una marcada variabilidad climática estacional. Ante la escasa presencia de estaciones meteorológicas locales con registros continuos, se optó por utilizar datos satelitales provenientes de la plataforma NASA POWER (Prediction of Worldwide Energy Resources), los cuales ofrecen series climáticas mensuales validadas, disponibles a escala global a partir del año 2000. Esta base de datos permitió superar las limitaciones de cobertura geográfica y temporal del monitoreo convencional en zonas rurales del Ecuador.

Procesamiento de Datos y Estructura de la Serie Temporal

Los datos de precipitación mensual (mm) se organizaron en una serie temporal mensual con una frecuencia de 12 observaciones por año, empleando el entorno RStudio (RStudio Team, 2023). Se calcularon estadísticos descriptivos básicos, como media, mediana, valores mínimos y máximos, y desviación estándar, con el fin de caracterizar la variabilidad interanual. Posteriormente, se aplicó una descomposición estacional mediante el método STL para identificar los componentes de tendencia, estacionalidad y ruido.

Evaluación de Tendencias y Estacionalidad

Las tendencias se analizaron mediante la prueba no paramétrica de Mann-Kendall estacional, adecuada para series con comportamiento periódico. La estacionalidad se confirmó mediante los gráficos de autocorrelación (ACF) y autocorrelación parcial (PACF), que evidenciaron dependencias significativas en rezagos de 12 meses.

Pruebas de Estacionariedad y Normalidad

La estacionariedad de la serie se verificó con el test aumentado de Dickey-Fuller (ADF), mientras que la normalidad se evaluó con las pruebas de Shapiro-Wilk y Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov), con el propósito de verificar la adecuación de los datos a los modelos estadísticos aplicados.

Modelado y Validación Estadística

Se ajustaron cuatro modelos de pronóstico: ARIMA, ETS, NNAR y Prophet, todos implementados en RStudio (RStudio Team, 2023) para proyectar la precipitación mensual entre 2025 y 2029. La validación se realizó mediante las métricas MAE, RMSE y MASE, y la comparación entre modelos se efectuó con la prueba de Diebold-Mariano (1995), a fin de determinar diferencias significativas en la precisión del pronóstico.

Justificación Metodológica y Limitaciones

La elección de datos satelitales se sustentó en la necesidad de suplir la ausencia de registros pluviométricos locales continuos, garantizando así una serie temporal completa y homogénea para el análisis. La aplicación de múltiples modelos de pronóstico permitió contrastar enfoques tradicionales y modernos en la predicción climática, fortaleciendo la robustez de los resultados. No obstante, se reconoce que la precisión de las estimaciones depende de la calidad y resolución espacial de los datos de entrada, así como de la influencia de fenómenos oceánicos globales que introducen variabilidad no siempre capturada por los algoritmos estocásticos. Por ello, se considera fundamental calibrar y validar los datos satelitales con registros locales cuando estos se encuentren disponibles, con el fin de mejorar la exactitud de los modelos y reducir las incertidumbres en futuras investigaciones.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La serie temporal de precipitación mensual de la ciudad de Jipijapa (2000-2024) mostró una alta variabilidad interanual y una marcada estacionalidad, características típicas de los regímenes climáticos costeros del Ecuador. Los valores promedio anuales fluctuaron entre 13.2 mm y 93.7 mm, mientras que la desviación estándar alcanzó máximos de hasta 144 mm en 2012 y 116 mm en 2017, evidenciando años con eventos extremos de precipitación asociados a condiciones oceánicas anómalas.

En el Cuadro 1 se observa que los años 2012, 2017 y 2023 registraron los mayores promedios y amplitudes de precipitación, en coincidencia con fases cálidas del fenómeno El Niño-Oscilación del Sur (ENSO). Por el contrario, períodos como 2005, 2007 y 2009 reflejaron condiciones notablemente secas, vinculadas a fases frías o neutrales del ENSO. Este comportamiento sugiere que las anomalías de temperatura superficial del Pacífico tienen una influencia directa sobre el régimen pluviométrico local.

Estos resultados son coherentes con lo reportado por Valdivieso-García et al. (2024), quienes proyectaron un aumento progresivo en los índices de precipitación extrema bajo escenarios RCP 8.5, y con los hallazgos de Quishpe-Vásquez, Gámiz, García, Castro y Esteban (2019), que identificaron una correlación significativa entre los caudales fluviales y los diferentes tipos de eventos El Niño, incluyendo El Niño Modoki. En conjunto, los patrones observados en Jipijapa confirman la influencia regional del ENSO sobre la dinámica de lluvias y refuerzan la necesidad de incorporar esta variabilidad en los modelos predictivos para la gestión hídrica y planificación territorial del cantón.

Cuadro 1. Estadísticos descriptivos anuales de la precipitación mensual en Jipijapa (mm).
Table 1. Annual descriptive statistics of monthly precipitation in Jipijapa (mm).

Año	Media	Mediana	Mínimo	Máximo	Desviación estándar
2000	47.50	12.80	1.49	156.00	55.70
2001	71.40	6.98	0.40	379.00	116.00
2002	73.50	10.90	0.29	327.00	117.00
2003	35.20	11.50	1.74	167.00	49.60
2004	31.90	4.15	0.30	128.00	45.60
2005	13.20	1.99	0.78	89.40	25.60
2006	30.50	2.13	0.21	168.00	51.50
2007	12.90	3.42	0.69	59.90	19.90
2008	72.80	2.86	0.56	281.00	110.00
2009	25.30	1.86	0.26	150.00	47.20
2010	48.70	19.50	1.06	136.00	54.60
2011	31.10	7.24	0.41	153.00	50.90
2012	93.70	6.56	0.09	424.00	144.00
2013	57.20	4.22	0.24	279.00	90.80
2014	28.00	7.38	0.62	107.00	40.30
2015	38.40	21.70	0.00	116.00	41.20
2016	43.20	1.35	0.04	152.00	62.40
2017	89.50	11.70	0.11	301.00	116.00
2018	39.20	13.20	0.10	270.00	75.80
2019	44.20	18.50	0.08	152.00	56.10
2020	32.10	6.24	0.44	112.00	41.60
2021	69.60	41.60	0.49	292.00	93.30
2022	40.50	4.46	0.19	221.00	66.80
2023	83.30	36.30	0.16	303.00	115.00
2024	41.70	18.70	0.53	275.00	77.50

Media = promedio de la precipitación mensual; mediana = valor central de la distribución; mínimo y máximo = valores extremos observados; desviación estándar = medida de la variabilidad de la precipitación mensual respecto a la media.

Mean = average monthly precipitation; median = central value of the distribution; minimum and maximum = observed extreme values; standard deviation = measure of the variability of monthly precipitation relative to the mean.

Análisis de Tendencia: Prueba Estacional de Mann-Kendall

La aplicación de la prueba de Mann-Kendall en la serie de precipitación mensual de Jipijapa ($\tau = 0.00695$; $p = 0.86615$) indica la ausencia de una tendencia estadísticamente significativa ($\alpha = 0.05$). Este resultado es coherente con estudios recientes en contextos climáticos comparables. De acuerdo con el estudio de Kliengchuay *et al.* (2024), los cambios en la temperatura y otros parámetros meteorológicos constituyen una preocupación creciente que afecta diversos sectores como la agricultura, el turismo y la industria. En Tailandia, las tendencias anuales analizadas mediante las pruebas Mann-Kendall (MK) y Análisis de Tendencia Innovador (ITA) revelaron incrementos en la temperatura y el índice de humedad, mientras que la humedad relativa y la precipitación mostraron tanto aumentos como descensos según la región. No obstante, la mayoría de estas variaciones no fueron estadísticamente significativas al 5%, con excepción de las regiones sur y oriental, donde se detectaron aumentos relevantes en la humedad y el índice de sensación térmica. A escala global, investigaciones han documentado que, si bien existen variaciones regionales, las tendencias generales en precipitaciones suelen no ser detectadas a nivel decadal (Nguyen *et al.*, 2018). Estos estudios refuerzan los resultados obtenidos en el presente trabajo, que reflejan un comportamiento propio de regiones tropicales donde, pese a la alta variabilidad interanual y eventos extremos, no se evidencian tendencias lineales sostenidos.

Este patrón también se observa en estudios regionales, en un análisis reciente de las cuencas hidrográficas de Ecuador, mediante la prueba de Mann-Kendall y el estimador de pendiente de Sen, se identificaron tendencias significativas de aumento en la parte occidental durante los meses húmedos, pero sin un patrón general consistente en otras estaciones (QuishpeVásquez *et al.*, 2019). De forma similar, el presente estudio muestra estabilidad en términos interanuales en Jipijapa, aunque un fortalecimiento de la estacionalidad, lo que sugiere que los cambios climáticos regionales podrían manifestarse más en la variabilidad estacional y en la incidencia de eventos extremos, que en variaciones lineales en los volúmenes anuales de precipitación.

Análisis de la Serie Temporal de Precipitación Mensual (2000-2024)

La serie de precipitación mensual en Jipijapa (2000-2024) exhibe una marcada estacionalidad, con lluvias concentradas entre diciembre y mayo y prácticamente nula precipitación entre junio y noviembre (Figura 1), lo cual es coherente con lo observado en áreas costeras áridas de Ecuador (García-Garizábal, 2017). En su análisis de datos obtenidos de 22 estaciones meteorológicas, García-Garizábal (2017) informaron que los trimestres diciembre-febrero y marzo-mayo representan aproximadamente el 60% y el 39% de la lluvia anual, respectivamente, mientras que la temporada seca presenta lluvias casi inexistentes, confirmando la fuerte asimetría estacional reportada también en el presente estudio. Esto valida la distribución no uniforme de precipitaciones documentada en la Cuadro 1 de Jipijapa, donde se observa una alternancia marcada entre meses muy húmedos y periodos con valores próximos a cero.

A pesar de la fuerte estacionalidad y alta variabilidad interanual registrada, en Jipijapa no se detectaron tendencias crecientes o decrecientes significativas a lo largo del período 2000-2024, como evidenció la prueba de Mann-Kendall ($\tau \approx 0$, $p = 0.866$). Este resultado coincide con lo previamente documentado en estudios realizados en la región costera del Ecuador, a pesar de registrar fluctuaciones considerables entre años secos y húmedos. En ambos casos no existe una tendencia lineal significativa, pero si existe una marcada estacionalidad, este comportamiento justifica el uso de análisis estacionales y modelos de series temporales para capturar sus patrones cíclicos y realizar pronósticos precisos.

Descomposición Estacional de la Precipitación Mensual Mediante STL

La serie de precipitación mensual evidenció un patrón estacional marcado, con picos recurrentes de lluvias en los primeros meses de cada año y periodos secos bien definidos (Figura 2). Este comportamiento confirma la fuerte estacionalidad del régimen pluviométrico en Jipijapa, característica de las zonas costeras del Ecuador.

La tendencia mostró variaciones suaves a largo plazo, alternando fases de incremento y disminución de la precipitación sin una dirección sostenida. Esta estabilidad concuerda con los resultados del test de Mann-Kendall estacional, que no detectó una tendencia significativa.

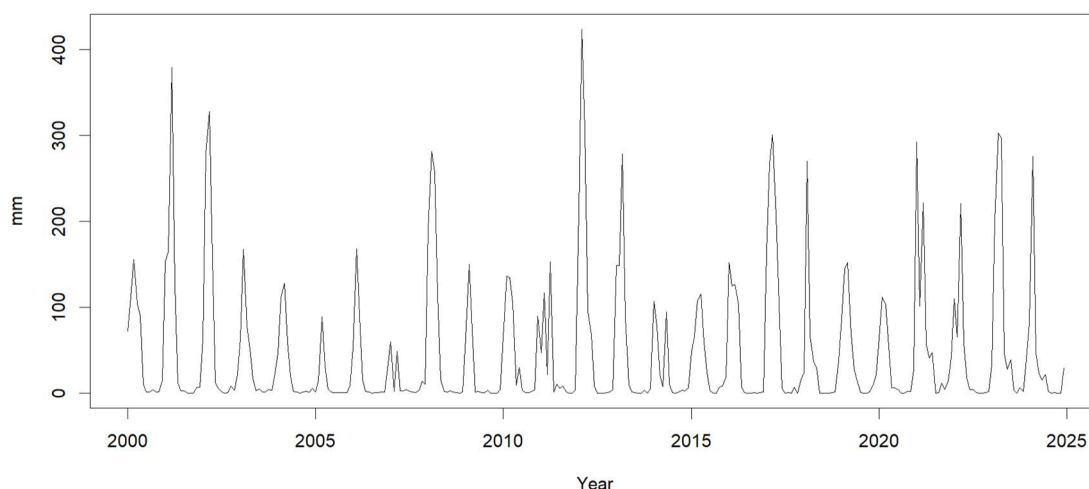


Figura 1. Serie temporal de precipitación mensual.
Figure 1. Time series of monthly precipitation.

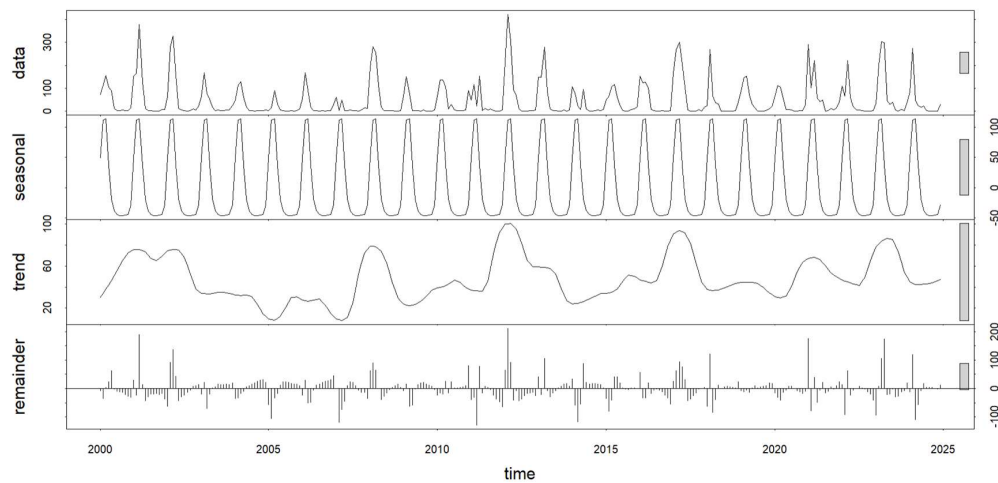


Figura 2. Descomposición de la serie temporal de precipitación mensual (2000-2024).
Figure 2. Decomposition of the monthly precipitation time series (2000-2024).

Los residuos reflejaron fluctuaciones irregulares y picos aislados asociados a eventos extremos o anomalías climáticas, evidenciando la variabilidad interanual no explicada por los componentes sistemáticos.

Análisis de Autocorrelación (ACF) de la Precipitación Mensual

La Figura 3 de autocorrelación muestra picos significativos en los múltiplos del rezago 12, lo que evidencia una marcada estacionalidad anual. Este patrón indica que los valores mensuales de lluvia tienden a repetirse de forma similar en los mismos meses de distintos años, reflejando la regularidad climática de la zona.

Se observan autocorrelaciones moderadas en los primeros rezagos (entre 1 y 3 meses), lo que sugiere una ligera persistencia temporal en meses consecutivos, es característico de series hidrometeorológicas en regiones con regímenes pluviométricos definidos.

La estructura de autocorrelaciones confirma que la dinámica de la precipitación en la ciudad de Jipijapa está fuertemente influenciada por un ciclo anual estable, lo que respalda el uso de modelos de series temporales estacionales, como ARIMA o ETS, para fines de pronóstico.

La autocorrelación parcial mostrada en la Figura 4 revela un pico significativo en el rezago 1, lo que indica fuerte dependencia inmediata con respecto al mes anterior, aun después de eliminar los efectos de autocorrelaciones intermedias. Este comportamiento evidencia una memoria a corto plazo característica de las series hidrometeorológicas, en las cuales las condiciones de humedad o precipitación suelen mantenerse durante varios meses consecutivos.

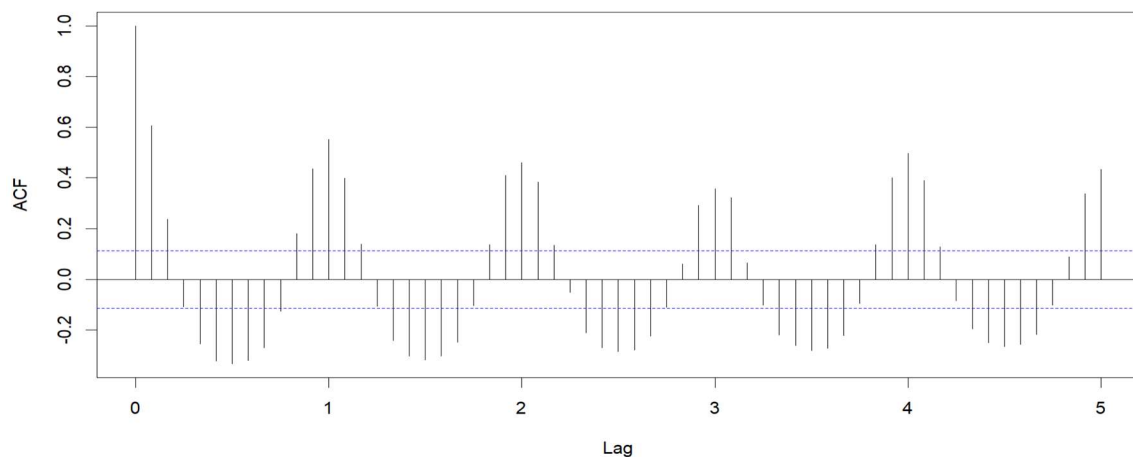


Figura 3. Función de Autocorrelación (ACF) - Precipitación mensual.
Figure 3. Autocorrelation function (ACF) of monthly precipitation.

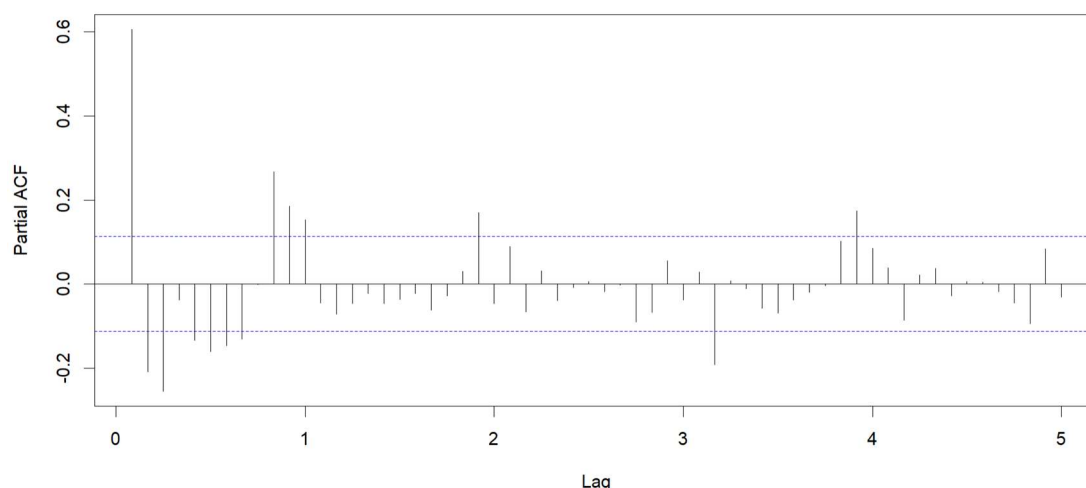


Figura 4. Función de Autocorrelación Parcial (PACF) - Precipitación mensual (2000-2024).
Figura 4. Función de Autocorrelación Parcial (PACF) - Precipitación mensual (2000-2024).

Asimismo, se aprecian picos menores en rezagos estacionales, especialmente alrededor del rezago 12, que reflejan la influencia de ciclos anuales recurrentes. Esta estructura respalda la aplicación de modelos estacionales como SARIMA para representar adecuadamente la dependencia temporal y los efectos cíclicos de la precipitación mensual.

Evaluación de la Estacionariedad Mediante la Prueba Aumentada de Dickey-Fuller (ADF)

La prueba aumentada de Dickey-Fuller (ADF) arrojó un valor estadístico de -9.7449 ($p < 0.01$), lo que respalda la hipótesis de que la serie es estacionaria. Esto valida la utilización de modelos como ARIMA o SARIMA sin necesidad de realizar diferenciaciones adicionales. Este resultado es consistente con el análisis de Chen y Rao (2002), quienes, al aplicar la prueba ADF a series mensuales hidrológicas que incluían datos de precipitación, encontraron que la mayoría resultaban estacionarias, lo que permitió aplicar modelos autorregresivos sin necesidad de transformación previa.

Del mismo modo, Rutkowska y Ptak (2012), en un estudio sobre caudales mensuales de ríos, combinaron pruebas de raíz unitaria (como ADF) y pruebas de estacionariedad (KPSS) y concluyeron que muchas series, especialmente aquellas con fuertes patrones estacionales, pueden ser consideradas estacionarias una vez eliminada la estacionalidad. En ambos casos, se refuerza la confianza en los resultados obtenidos para Jipijapa, ya que la robustez estadística de la serie confirmada mediante pruebas estandarizadas sustenta la aplicabilidad de los modelos de pronóstico sin transformaciones adicionales, garantizando su precisión y validez metodológica.

Pruebas de Normalidad para la Precipitación Mensual

Las pruebas de normalidad mostraron resultados significativos: Shapiro-Wilk ($W = 0.66507$, $p < 2.2 \times 10^{-16}$) y Lilliefors ($D = 0.26932$, $p < 2.2 \times 10^{-16}$), rechazando la hipótesis de normalidad ($p < 0.05$). Este patrón coincide con hallazgos en la literatura hidrológica, que indican que las series de precipitación suelen estar sesgadas y contener valores extremos (Burn y Elnur, 2002), justificando el uso de modelos de predicción robustos, como ARIMA, ETS y NNAR que no requieren normalidad en los residuos.

Interpretación del Modelo ARIMA Ajustado

El modelo estacional ARIMA (0,0,2) (2,1,0) [12] que se aplicó a la serie demostró una adecuada capacidad para capturar tanto la dinámica estacional como las fluctuaciones de corto plazo de la precipitación mensual. La diferenciación estacional de primer orden eliminó patrones cíclicos anuales, mientras que la inclusión de términos autorregresivos y de promedio móvil permitió modelar la persistencia temporal. El diagnóstico del modelo, con MASE de 0.83 y residuos sin autocorrelación significativa, respalda su fiabilidad. Murat, Malinowska, Gos y Krzyszczak (2018), quienes documentaron la efectividad de modelos ARIMA para representar con precisión la variabilidad estacional de la precipitación en regiones con patrones similares.

Coeficientes Claves

Los coeficientes de promedio móvil $MA(1) = 0.3743$ y $MA(2) = 0.2407$ indican que los errores recientes influyen moderadamente en las predicciones, ayudando a suavizar fluctuaciones irregulares. A su vez, los valores negativos de los términos estacionales $SAR(1) = -0.5618$ y $SAR(2) = -0.2773$ reflejan un comportamiento cíclico anual típico de zonas costeras con marcada estacionalidad.

Los indicadores $AIC = 3166.05$, $BIC = 3184.36$ y la varianza residual ($\sigma^2 = 3355$) evidencian un modelo estable y sin sobreajuste. La autocorrelación del primer residuo ($ACF_1 = 0.0016$) cercana a cero confirma que los errores se comportan como ruido blanco y los valores $RMSE = 56.36$ mm, $MAE = 30.94$ mm y $MASE = 0.83$ demuestran un buen nivel de exactitud, superior al de un modelo estacional ingenuo. En conjunto, estos resultados posicionan al modelo ARIMA como una herramienta confiable para pronosticar la lluvia en Jipijapa, útil para la planificación territorial y la gestión del riesgo climático en regiones con alta variabilidad de precipitaciones.

Pronóstico ARIMA - Precipitación Mensual (5 Años)

En coherencia con la estructura pluviométrica observada, la Figura 5 proyecta un comportamiento cíclico estable en la precipitación mensual para el período 2025-2029, manteniendo el patrón característico de lluvias intensas durante los primeros meses de cada año, seguido de una etapa seca claramente definida. La serie pronosticada conserva la estructura estacional registrada en las dos últimas décadas, lo que evidencia la capacidad del modelo para representar con precisión la dinámica recurrente del régimen pluviométrico en Jipijapa.

Los intervalos de confianza se amplían gradualmente a lo largo del horizonte de pronóstico, reflejando la incertidumbre asociada a las predicciones de largo plazo. Sin embargo, la trayectoria central del modelo permanece estable, sin mostrar señales de incrementos o disminuciones sostenidas, lo que sugiere una tendencia estacionaria en los niveles de precipitación mensual en la región.

El Cuadro 2 muestra que los modelos ARIMA y ETS presentaron un desempeño prácticamente equivalente en la predicción de la precipitación mensual en Jipijapa, con valores de error similares ($RMSE = 57.66$ mm y 59.02 mm, respectivamente; $MASE = 0.96$ en ambos casos). Estos indicadores reflejan una alta capacidad predictiva y confirman la adecuación de ambos enfoques para series pluviométricas con fuerte estacionalidad.

De manera general, se ha documentado que los modelos ARIMA y las redes neuronales pueden mostrar desempeños comparables en términos de $RMSE$ y correlación. En este estudio, el modelo NNAR registró un $RMSE$ de 78.15 mm y un $MASE$ de 1.41 , lo que evidencia una menor precisión respecto a los modelos lineales.

En el contexto local, estos resultados reafirman que los modelos lineales estacionales, como ARIMA y ETS, resultan más eficientes para representar la dinámica climática de Jipijapa, caracterizada por una estacionalidad anual marcada y una variabilidad moderada de largo plazo.

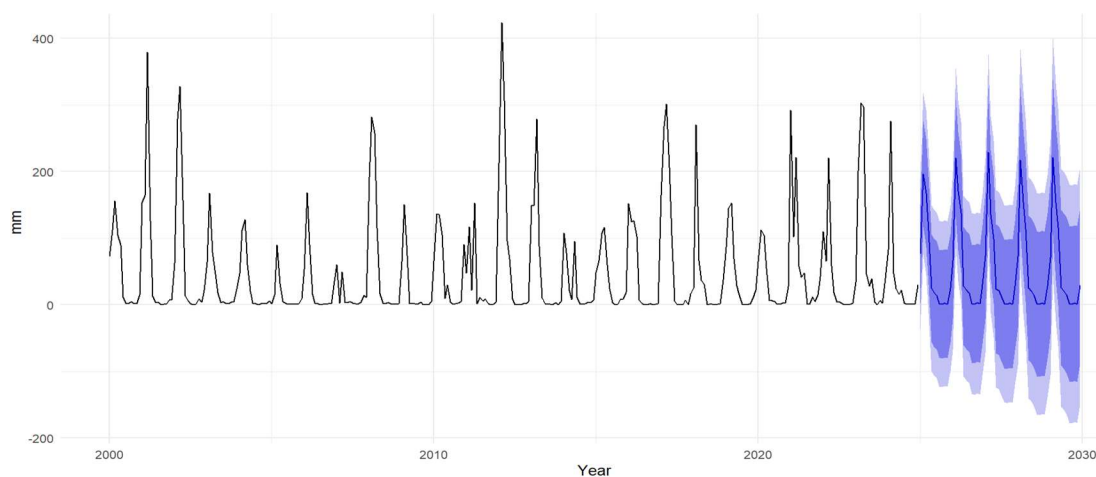


Figura 5. Pronóstico ARIMA - Precipitación mensual (5 años).
Figure 5. ARIMA forecast of monthly precipitation (5 years).

Cuadro 2. Métricas de pronóstico (MAE, RMSE, MASE)
Table 2. Forecast metrics (MAE, RMSE, MASE).

Modelo	MAE	RMSE	MASE
ARIMA	33.65	57.66	0.96
ETS	33.72	59.02	0.96
NNAR	49.55	78.15	1.41

MAE = error absoluto medio; RMSE = raíz del error cuadrático medio; MASE = error absoluto medio escalado; valores menores indican un mejor ajuste y mayor precisión del modelo de pronóstico.

MAE = mean absolute error; RMSE = root mean square error; MASE = mean absolute scaled error; lower values indicate a better fit and higher forecast accuracy.

La prueba de Diebold-Mariano (1995), mostrada en la (Cuadro 3) indica que el modelo ARIMA supera significativamente al NNAR ($DM = -2.04$, $p = 0.045$), sin diferencias estadísticamente significativas entre ARIMA y ETS, ni entre ETS y NNAR. Resultados similares fueron reportados por Maleki, Nasser, Aminabad y Hadi (2018), quienes aplicaron la misma prueba a datos de plantas de tratamiento de agua y mostraron que los modelos lineales, como ARIMA, tenían una precisión significativamente mayor que NNAR. Asimismo, Dwivedi, Kelaiya y Sharma (2019), trabajaron con la precipitación mensual en India, y también encontraron que ARIMA y ETS ofrecían rendimientos estadísticamente indistinguibles entre sí, pero superiores a los de un modelo de redes neurales. De manera congruente, Sathees-Kumar, Gowthaman y Bhattacharyya (2023), evidenciaron que ARIMA presentaba un mejor desempeño frente a ANN en pronósticos de lluvia anual, validado mediante la prueba de Diebold-Mariano (1995).

El análisis realizado reveló que la precipitación mensual en el cantón Jipijapa, durante el periodo 2000–2024, presenta una variabilidad interanual considerable y una estacionalidad claramente marcada. Los valores de precipitación media anual oscilaron entre 12.9 mm en 2007 y 93.7 mm en 2012, acompañados de desviaciones estándar elevadas en años como 2012, 2001 y 2017. Estos resultados reflejan la presencia de eventos hidrometeorológicos extremos y una distribución irregular de las lluvias, lo cual coincide con lo señalado por Cedeño Toala (2023¹), quien reportó que la mayor parte de la precipitación en Jipijapa se concentra entre enero y marzo, mientras que el resto del año se caracteriza por una marcada estación seca influenciada por la dinámica del fenómeno El Niño-Oscilación del Sur (ENOS).

La comparación con la evaluación hidrológica elaborada por Chuim y Veliz (2023) confirma un déficit hídrico persistente en la subcuenca del río Jipijapa, donde la precipitación media anual entre 2008 y 2021 fue de 52.6 mm, con un único mes excedentario (febrero). Esta distribución coincide con los resultados del presente estudio, en el cual las precipitaciones más altas se concentran durante el primer trimestre, mientras que los meses restantes presentan valores inferiores a 10 mm en la mayoría de los años analizados.

En relación con las tendencias de largo plazo, la prueba de Mann-Kendall ($\tau = 0.00695$; $p = 0.86615$) no evidenció cambios estadísticamente significativos en la precipitación durante el periodo de estudio. Este comportamiento concuerda con lo indicado por Cantos-Vítores (2019²), quien, mediante los índices SPI y SPEI, determinó que en Manabí no se observan tendencias claras en la precipitación; sin embargo, sí se presentan episodios prolongados de sequía que afectan la producción agrícola y los ecosistemas locales.

Por otro lado, los eventos de precipitación extrema registrados en marzo de 2012 y 2017 que superaron los 300 mm y alcanzaron valores de hasta 424 mm— coinciden con años caracterizados por una fuerte actividad del fenómeno El Niño. Thielen et al. (2023) documentaron que los eventos intensos de El Niño generan incrementos anómalos de precipitación a lo largo de la costa ecuatoriana. En este sentido, la coincidencia temporal entre las anomalías oceánicas y los picos máximos de precipitación observados en Jipijapa resalta la utilidad de incorporar indicadores oceánicos en los modelos de pronóstico.

La dinámica pluviométrica de la región también está influenciada por forzantes de mayor escala, como la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO). Campozano et al. (2020) señalaron que la PDO amplifica la relación entre ENOS y la precipitación en la costa ecuatoriana, lo que podría explicar la magnitud excepcional de las lluvias de 2012 y 2017.

¹ Cedeño-Toala, A. J. (2023). *Variabilidad climática en el cantón Jipijapa, provincia de Manabí*. Tesis para obtener el grado de Licenciatura. Universidad Estatal del Sur de Manabí. Disponible en <https://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/5876>

² Cantos-Vítores, G. A. (2019). *Variabilidad espacio-temporal de sequías meteorológicas en el cantón Jipijapa (Ecuador)*. Tesis para obtener el grado de Maestría en Ciencias. Universidad de Alcalá. Disponible en: <https://hdl.handle.net/10017/50387>

Cuadro 3. Resultados de la prueba de Diebold-Mariano.
Table 3. Results of the Diebold-Mariano test.

Comparación	DM Estadístico	p-valor	Interpretación
ARIMA vs ETS	-1.52	0.134	No existe diferencia significativa en la exactitud
ARIMA vs NNAR	-2.04	0.045	Diferencia estadísticamente significativa
ETS vs NNAR	-0.41	0.685	No existe diferencia significativa

DM statistic = estadístico de Diebold-Mariano; p-value = valor de probabilidad asociado a la prueba; la prueba de Diebold-Mariano (DM) compara la precisión predictiva entre dos modelos; valores de $p < 0.05$ indican diferencias estadísticamente significativas en la exactitud del pronóstico entre los modelos evaluados. DM statistic = Diebold-Mariano statistic; p-value = probability value associated with the test; the Diebold-Mariano (DM) test compares the predictive accuracy between two models; p-values < 0.05 indicate statistically significant differences in forecast accuracy between the evaluated models.

Además, los resultados obtenidos guardan coherencia con estudios globales que analizan la intensificación de la variabilidad hidrológica bajo escenarios de cambio climático. Yun *et al.* (2021) demostraron que el calentamiento global incrementa la sensibilidad de la relación temperatura-precipitación en las regiones tropicales. Asimismo, Lee, Julien y Lee (2023) evidenciaron que las fases cálidas y frías del ENOS generan respuestas contrastantes de precipitación en distintas regiones del continente americano, lo que confirma la influencia global de este fenómeno. Finalmente, Burn y Elnur (2002) subrayaron la importancia de detectar tendencias hidrológicas de largo plazo para fortalecer la gestión del agua ante un clima cada vez más variable.

En conjunto, estos hallazgos respaldan la interpretación de los patrones de precipitación obtenidos en el presente estudio y destacan la pertinencia de emplear modelos estacionales como SARIMA para capturar la estacionalidad dominante y la variabilidad interanual bajo condiciones de creciente incertidumbre climática.

CONCLUSIONES

La precipitación mensual en el cantón Jipijapa mostró un patrón estacional recurrente, con máximos en los primeros meses del año y mínimos en los períodos secos. Esta estacionalidad fue consistentemente identificada mediante análisis de autocorrelación (ACF y PACF) y descomposición estacional STL, validando la aplicación de modelos con componentes periódicos para representar la dinámica climática local.

Entre los modelos de series temporales empleados (SARIMA, ETS, NNAR y Prophet) el modelo SARIMA presentó un desempeño predictivo robusto, con errores inferiores al umbral de referencia ($MASE < 1$), y residuos que se comportaron como ruido blanco, evidenciando su validez para fines de pronóstico climático en contextos estacionales.

No se identificaron tendencias significativas a largo plazo en la precipitación mensual, de acuerdo con la prueba de Mann-Kendall estacional, lo que indicó ausencia de señales de intensificación o disminución sostenida en las lluvias durante el periodo analizado. Este hallazgo refuerza la necesidad de realizar estudios complementarios que consideren otros factores hidroclimáticos y escenarios de cambio climático para mejorar la toma de decisiones en la gestión hídrica territorial.

DECLARACIÓN DE ÉTICA

No aplicable.

CONSENTIMIENTO PARA PUBLICACIÓN

No aplicable.

DISPONIBILIDAD DE DATOS

Los datos utilizados en este estudio fueron obtenidos a través de la plataforma POWER Data Access Viewer de la NASA. Estos datos son de acceso libre y pueden consultarse directamente desde el portal oficial para su uso en investigaciones científicas y académicas.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia, ni financieros ni no financieros, que puedan haber influido en los resultados o la interpretación de los hallazgos de este estudio.

FINANCIACIÓN

No aplicable.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Conceptualización: B.A.C.M. y J.L.A.C.; Metodología: B.A.C.M.; Software: B.A.C.M. y K.A.Z.P.; Validación: B.A.C.M., J.L.A.C. y J.J.J.V.; Análisis formal: B.A.C.M.; Investigación: B.A.C.M. y K.A.Z.P.; Recursos: J.L.A.C. y K.A.Z.P.; Curación de datos: B.A.C.M. y K.A.Z.P.; Escritura - preparación del borrador original: B.A.C.M.; Escritura - revisión y edición: J.M.G.C.; Visualización: B.A.C.M.; Supervisión: J.M.G.C.; Administración del proyecto: J.L.A.C.

AGRADECIMIENTOS

No aplicable.

LITERATURA CITADA

- Burn, D. H., & Elnur, M. A. H. (2002). Detection of hydrologic trends and variability. *Journal of Hydrology*, 255(1-4), 107-122. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(01\)00514-5](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(01)00514-5)
- Campoizano, L., Robaina, L., & Samaniego, E. (2020). The Pacific decadal oscillation modulates the relation of ENSO with the rainfall variability in coast of Ecuador. *International Journal of Climatology*, 40(13), 5801-5812. <https://doi.org/10.1002/joc.6525>
- Chen, H. L., & Rao, A. R. (2002). Testing hydrologic time series for stationarity. *Journal of Hydrologic Engineering*, 7(2), 129-136. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1084-0699\(2002\)7:2\(129\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0699(2002)7:2(129))
- Chum, J. L. W., & Veliz, J. J. J. (2023). Evaluación del balance hídrico superficial de la subcuenca hidrográfica del río Jipijapa. *Revista Científica Arbitrada Multidisciplinaria Pentaciencias*, 5(3), 582-593. <https://doi.org/10.59169/pentaciencias.v5i3.493>
- Diebold, F. X., & Mariano, R. S. (1995). Comparing predictive accuracy. *Journal of Business and Economic Statistics*, 13(3), 253-263. <https://doi.org/10.2307/1392185>
- Dwivedi, D. K., Kelaiya, J. H., & Sharma, G. R. (2019). Forecasting monthly rainfall using ARIMA and ANN model: A case study of Junagadh, Gujarat, India. *Journal of Applied and Natural Science*, 11(1), 100-107. <https://doi.org/10.31018/jans.v11i1.1951>
- Flores, M. E., & Arias, G. I. (2024). Influencia de la variabilidad climática en temperatura, precipitación y velocidad del viento en Villonaco, Ecuador. *Ciencia Unemi*, 17(45), 36-51. <https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol17iss45.2024pp36-51p>
- García-Garizábal, I. (2017). Rainfall variability and trend analysis in coastal arid Ecuador. *International Journal of Climatology*, 37(13), 4620-4630. <https://doi.org/10.1002/joc.5110>
- INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología). (2019). Boletín de condiciones atmosféricas actuales y perspectivas meteorológicas (No. 8). Consultado el 02 de febrero de 2024, desde <https://www.serviciometeorologico.gob.ec>
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2021). *Climate change 2021: The physical science basis*. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press.
- Jiménez, E., Murillo, A., & Delgado, D. (2024). Análisis comparativo de bases de datos de precipitaciones para la provincia de Manabí. *Revista Científica Arbitrada Multidisciplinaria Pentaciencias*, 6(1), 273-287. <https://doi.org/10.59169/pentaciencias.v6i1.957>
- Kliengchuay, W., Mingkhwan, R., Kiangkoo, N., Suwanmanee, S., Sahanavin, N., Kongpran, J., ... & Tantrakarnapa, K. (2024). Analyzing temperature, humidity, and precipitation trends in six regions of Thailand using innovative trend analysis. *Scientific Reports*, 14(1), 7800. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-57980-5>
- Lee, J. H., Julien, P. Y., & Lee, S. (2023). Teleconnection of ENSO extreme events and precipitation variability over the United States. *Journal of Hydrology*, 619, 129206. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129206>
- Lyon, B., & Barnston, A. G. (2005). ENSO and the spatial extent of interannual precipitation extremes in tropical land areas. *Journal of Climate*, 18(23), 5095-5109. <https://doi.org/10.1175/JCLI3598.1>
- Maleki, A., Nasser, S., Aminabad, M. S., & Hadi, M. (2018). Comparison of ARIMA and NNAR models for forecasting water treatment plant's influent characteristics. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 22(9), 3233-3245. <https://doi.org/10.1007/s12205-018-1195-z>
- Murat, M., Malinowska, I., Gos, M., & Krzyszczak, J. (2018). Forecasting daily meteorological time series using ARIMA and regression models. *International Agrophysics*, 32(2), 253-264. <https://doi.org/10.1515/intag-2017-0007>
- Nguyen, P., Thorstensen, A., Sorooshian, S., Hsu, K., Aghakouchak, A., Ashouri, H., ... & Braithwaite, D. (2018). Global precipitation trends across spatial scales using satellite observations. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 99(4), 689-697. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-17-0065.1>
- Quishpe-Vásquez, C., Gámiz-Fortis, S. R., García-Valdecasas-Ojeda, M. M. D. V., Castro-Díez, Y., & Esteban-Parra, M. J. (2019). Tropical Pacific SST influence on seasonal streamflow variability in Ecuador. *Climate Dynamics*, 53(9-10), 5597-5616.
- RStudio Team (2023). *RStudio: Integrated development environment for R*. Boston, MA, USA: RStudio, PBC.
- Rutkowska, A., & Ptak, M. (2012). On certain stationarity tests for hydrologic series. *Studia Geotechnica et Mechanica*, 34(1), 51-63. <https://doi.org/10.1515/sgem-2017-0022>

- Sathees-Kumar, K., Gowthaman, T., & Bhattacharyya, B. (2023). Comparison of ARIMA and ANN for forecasting the annual rainfall of Nadia District, West Bengal, India. *Ecology, Environment and Conservation*, 29(4), S24-S29. <https://doi.org/10.53550/EEC.2023.v29i04s.005>
- Thielen, D. R., Ramoni-Perazzi, P., Zamora-Ledezma, E., Puche, M. L., Marquez, M., Quintero, J. I., ... & Arizapana-Almonacid, M. A. (2023). Effect of extreme El Niño events on the precipitation of Ecuador. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 23(4), 1507-1527. <https://doi.org/10.5194/nhess-23-1507-2023>
- Valdivieso-García, K., Vázquez-Patiño, A., Saritama, H., Contreras, J., Avilés, A., & García, F. (2024). Influence of climate change on precipitation extremes in Ecuador. *Climatic Change*, 177(11), 165. <https://doi.org/10.1007/s10584-024-03820-4>
- Yun, K. S., Lee, J. Y., Timmermann, A., Stein, K., Stuecker, M. F., Fyfe, J. C., & Chung, E. S. (2021). Increasing ENSO-rainfall variability due to changes in future tropical temperature-rainfall relationship. *Communications Earth & Environment*, 2(1), 43. <https://doi.org/10.1038/s43247-021-00108-8>