ISSN 2477-9105
Número 33 Vol.1 (2025)
DOI: https://doi.org/10.47187/perf.v1i33.328
Perfiles
Fecha de recepción: 15-10-2024 / **Fecha de aceptación:** 28-03-2025 / **Fecha de Publicación:** 22-05-2025

ANÁLISIS DE TENDENCIAS DE PRECIPITACIONES ANUALES EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO JUBONES, ECUADOR MEDIANTE ESTADÍSTICA NO PARAMÉTRICA

Analysis of annual rainfall trends in the Jubones river basin, Ecuador, using nonparametric statistics

[1, 3] Oldrin Bonilla Cáceres *
[2, 3] Susana Arciniegas Ortega

[1] Consultora Analítica Green Dataframe Environmental, Quito, Ecuador.
[2] Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleos y Ambiental, Carrera de Ingeniería Ambiental, Quito, Ecuador.
[3] Universidad Central del Ecuador, Grupo de Investigación en Geotecnologías Aplicadas a las Ciencias Ambientales, Quito, Ecuador

* greendecuador@gmail.com

RESUMEN

El Ecuador se caracteriza por una notable diversidad climática, influenciada por factores como la latitud, la orografía y el océano Pacífico. Este estudio analizó la tendencia de la precipitación anual acumulada en la cuenca del río Jubones durante un período de 34 años (1990-2023) utilizando la prueba no paramétrica de Mann-Kendall. Los datos de precipitación se obtuvieron de cinco estaciones meteorológicas del INAMHI y se complementaron con información satelital de Giovanni Earth Data. Los resultados mostraron tendencias significativas en varias estaciones, reflejadas en valores de τ, S y p-value, que revelan patrones tanto de aumento (tendencias positivas) como de disminución (tendencias negativas) en las precipitaciones. La estación M0040 mostró una tendencia negativa, mientras que las estaciones M0481, M0419 y M0420 presentaron tendencias positivas. Solo la estación M0422 no mostró una tendencia significativa, indicando datos aleatorios e independientes. Estos hallazgos sugieren que las precipitaciones en la cuenca del río Jubones están influenciadas por factores climáticos regionales, como la Oscilación del Sur-El Niño (ENSO). La identificación de estas tendencias es crucial para anticipar cambios en la disponibilidad de agua, mejorar la planificación agrícola y gestionar el potencial erosivo de las precipitaciones en la región.

Palabras claves: *precipitación, estadística, clima, meteorología, Mann-Kendall, río.*

ABSTRACT

Ecuador is characterized by a remarkable climatic diversity, influenced by factors such as latitude, orography and the Pacific Ocean. This study analyzed the trend of cumulative annual precipitation in the Jubones River basin over a 34-year period (1990-2023) using the nonparametric Mann-Kendall test. Precipitation data were obtained from five INAMHI meteorological stations and supplemented with satellite information from Giovanni Earth Data. The results showed significant trends at several stations, reflected in τ, S and p-value values, revealing patterns of both increasing (positive trends) and decreasing (negative trends) precipitation. Station M0040 showed a negative trend, while stations M0481, M0419 and M0420 showed positive trends. Only station M0422 did not show a significant trend, indicating random and independent data. These findings suggest that precipitation in the Jubones River basin is influenced by regional climatic factors, such as the El Niño-Southern Oscillation (ENSO). Identifying these trends is crucial for anticipating changes in water availability, improving agricultural planning, and managing the erosive potential of precipitation in the region.

Keywords: *precipitation, statistic, weather, meteorology, Mann-Kendall, river.*

I. INTRODUCCIÓN

El Ecuador se distingue por tener una gran diversidad de climas, con temperaturas y niveles de precipitación que varían considerablemente (1). Dentro de este contexto, la variabilidad climática en la región austral del país se debe principalmente a factores como la latitud, la orografía y las influencias del océano Pacífico. La posición sobre la línea ecuatorial y la influencia directa de sistemas de circulación como la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), donde convergen los vientos alisos de ambos hemisferios, permite la entrada de aire con diferentes características según la estación (2).

De esta manera, la precipitación es un fenómeno natural que muestra una considerable variabilidad tanto en el espacio como en el tiempo, dependiendo de las características específicas de cada región. Esta variabilidad tiene efectos directos y significativos en la hidrología de las cuencas (3). Dicho de otro modo, las precipitaciones y su variabilidad son factores importantes en el ciclo hidrológico mundial que afectan a todos los organismos vivos del planeta (4). En tal caso, no solo se manifiestan modificaciones en las características de la variabilidad espaciotemporal de las precipitaciones, sino también en la variabilidad espaciotemporal de las precipitaciones extremas y catástrofes naturales conexas (5). Los fenómenos extremos se investigan en diversos campos, como la ecología, la ingeniería e incluso en las ciencias sociales. Sin embargo, los fenómenos meteorológicos y climáticos extremos, en particular las precipitaciones, son los que más han despertado interés en la literatura reciente (6). Es importante mencionar que se prevé que los cambios climáticos influyan en la aparición de precipitaciones extremas O sequías duraderas (7). Por consiguiente, actualizar y mejorar los análisis de las precipitaciones es una actividad estratégica para la evaluación de la exposición actual y futura a peligros (8). En este contexto, analizar las precipitaciones en la cuenca hidrográfica del río Jubones es fundamental para comprender los riesgos ambientales, como las frecuentes inundaciones en la región o la ausencia de recurso hídrico (9). Además, la cuenca es significativa para el sector energético, ya que en ella se encuentra el Proyecto Hidroeléctrico Minas- San Francisco, el cual aporta 275 MW al sistema eléctrico nacional (10).

El objetivo del presente estudio fue analizar la tendencia de la precipitación acumulada anual en la cuenca hidrográfica del río Jubones durante un período de 34 años (1990-2023) utilizando la prueba no paramétrica de Mann-Kendall. Esto se realizó con el fin de establecer una metodología con bases sólidas para la predicción y estimación del recurso hídrico a largo plazo en el contexto nacional.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La cuenca hidrográfica del río Jubones se localiza al sur del Ecuador, en las provincias de Azuay, El Oro y Loja. Siendo en la provincia de Azuay donde tiene su mayor extensión, ocupando territorio en los cantones de Pucará, Nabón, San Fernando, Santa Isabel, Sígsig, Oña y Girón (11). El río Jubones presenta un caudal promedio de 69.53 m3/s. Igualmente, posee una superficie aproximada de 4285 km2 y una gran variación altitudinal (12,13). En la Figura 1 se exhibe la localización nacional y local de la cuenca de estudio.

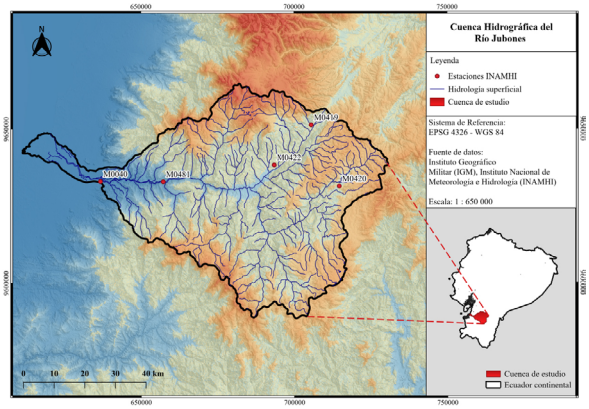

Figura 1. *Mapa de ubicación de la cuenca hidrográfica del río Jubones y estaciones meteorológicas del INAMHI*

Por otro lado, la Tabla 1 contiene las coordenadas de las estaciones meteorológicas del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) utilizadas para la presente investigación.

Código	Nombre	Longitud	Latitud	Altura (m.s.n.m.)
M0040	Pasaje	635322.00	9631877.90	40
M0419	Girón	705646.50	9651214.20	2130
M0420	Nabón INAMHI	714872.50	9631290.00	2750
M0422	Hacienda Santa Lucía-Camino Rircay	693643.30	9638149.00	1310
M0481	Ushcurrumi	657392.60	9632800.60	290

Tabla 1. *Coordenadas estaciones meteorológicas INAMHI (UTM 17S – WGS84)*

Fuente de datos pluviométricos y tratamiento de datos

La información pluviométrica acumulada mensual fue obtenida a través de los anuarios del INAMHI, abarcando un rango de 24 años (1990-2013). Sin embargo, es necesario un periodo mínimo de 30 años para calcular con significancia estadística las distribuciones de frecuencia de precipitación (14). Entonces, a través de diferentes sensores satelitales de Giovanni Earth Data (www.earthdata.nasa.gov) se adquirió información complementaria para aumentar el periodo temporal del estudio hasta los 34 años (1990-2023). En la Tabla 2 se muestran los detalles de los sensores utilizados.

Sensor	Unidad	Fuente	Resolución Temporal	Resolución Espacial	Desde	Hasta
GPM_3IMERGM v07	mm/mes	GPM	Mensual	0.1°	2000-06-01	2023-12-31
FLDAS_NOAH01_C_GL_M v001	kg m^{-2} s^{-1}	FLDAS Model			1982-01-01	2024-04-30

Tabla 2. *Sensores satelitales utilizados*

A través del Coeficiente de Pearson (Ecuación 1), se evaluó la correspondencia entre los datos reales y los datos satelitales.

$$R = \frac{\sum (x_i - \bar{x})\ (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \sum (y_i - \bar{y})^2}} \qquad (1)$$

Donde x_i corresponde a los datos terrestres (estaciones meteorológicas), y_i a los datos satelitales; y $\bar{x}$ y $\bar{y}$ representan las medias aritméticas de los datos terrestres y satelitales respectivamente. Adicionalmente, se llevó una prueba T emparejada para verificar si las medias aritméticas de ambos conjuntos de datos son significativamente equivalentes. Se expresa estadísticamente mediante las Ecuaciones 2 y 3.

$$T = \frac{\bar{x} - \bar{y}}{\sqrt{\frac{s_x^2}{n_1} + \frac{s_y^2}{n_2}}} \qquad (2)$$

$$df = \frac{\frac{s_x^2}{n_1} + \frac{s_y^2}{n_2}}{\left(\frac{\left[\frac{s_x^2}{n_1}\right]}{n_1 - 1} + \frac{\left[\frac{s_y^2}{n_2}\right]}{n_2 - 1}\right)^2} \qquad (3)$$

En este caso, S_x y S_y representan las desviaciones estándar de los conjuntos de datos. Asimismo, n_1 y n_2 indican el número total de observaciones pluviométricas. En la Tabla 3 se evaluó los diferentes sensores satelitales para completar el periodo de estudio de 34 años. En donde todos los datos terrestres presentaron un coeficiente de correlación de Pearson superior a 0.61 para ambos satélites, con la excepción de la estación M0422 con el sensor FLDAS Model. Además, la prueba T de muestras emparejadas indicó que las medias aritméticas de los datos satelitales no difieren significativamente con un nivel de confianza del 95%, excepto en la estación M0422, donde la media mostró una diferencia estadísticamente significativa. Asimismo, la Figura 2 ilustra la considerable variabilidad de los datos pluviométricos mensuales en cada estación. Consecuentemente, se homogenizaron y completaron los datos pluviométricos faltantes las series utilizando el paquete *climatol* del software estadístico RStudio (versión 4.1.2) mediante el método estadístico de Paulhus y Kohler.

	Coeficiente de Pearson (R)		T-Student (p-value)	
Estación INAMHI	GPM	FLDAS	GPM	FLDAS
M0040	0.90	0.76	0.95	0.77
M0481	0.90	0.74	<0.05	0.63
M0422	0.84	-0.34	<0.05	<0.05
M0419	0.75	0.69	<0.05	0.15
M0420	0.67	0.61	<0.05	<0.05

Tabla 3. *Evaluación de sensores satelitales para completar series pluviométricas*

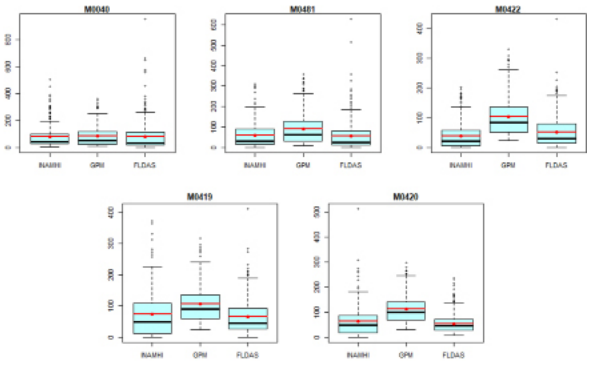

Figura 2. *Diagrama de cajas y bigotes (boxplot) de los datos de las estaciones meteorológicas del INAMHI y sensores satelitales*

Análisis estadístico de precipitaciones anuales acumuladas

Hay numerosas pruebas paramétricas y no paramétricas para analizar las tendencias en series pluviométricas. En este estudio, se optó por utilizar la prueba no paramétrica de Mann-Kendall (15,16) debido a su robustez frente a la no normalidad, no linealidad, valores ausentes, dependencia serial y valores atípicos (17). En Mann-Kendall la hipótesis nula (H_0) supone que no existe tendencia en la serie de datos pluviométricos (los datos son independientes y presentan aleatoriedad). La hipótesis alternativa (H_1) supone que existe una tendencia (18). La prueba de Mann-Kendall considera la serie temporal de *n* puntos de datos e *yi* e *yj* como subconjuntos de datos donde *i=1,2, 3,…, n-1* y *j=i+1, i+2, i+3,…, n*. Cuando un valor de un periodo es mayor que un periodo anterior, se suma 1 al estadístico S. Igualmente, si el valor del periodo es menor que uno tomado aleatoriamente, se resta 1 a S. Al final, el valor de S es el resultado de todas las sumas y restas (19). El estadístico S de Mann-Kendall se expresa en la Ecuación 4.

$$S = \sum_{i-1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^{n} sgn\,(xj - xi) \qquad (4)$$

Donde *sgn* (*x*j - *x*i) se expresa en la Ecuación 5.

$$sgn\,(xj - xi) = \begin{cases} 1, si\,(xj - xi) > 0 \\ 0, si\,(xj - xi) = 0 \\ -1, si\,(xj - xi) < 0 \end{cases} \qquad (5)$$

En la investigación previa de Mckee et al. (20), se estableció una clasificación del valor *S* para Mann-Kendall en estudios de precipitación. Estos valores se presentan en la Tabla 4.

Clasificación	Intervalo
Humedad extrema	S ≥ 2
Humedad severa	1.5 ≤ S < 2
Humedad moderada	1 ≤ S < 1.5
Humedad leve	0.5 ≤ S < 1
Normal	−0.5 < S < 0.5
Sequia leve	−1 < S ≤ −0.5
Sequía moderada	−1.5 < S ≤ −1
Sequía severa	−2 < S ≤ −1.5
Sequía extrema	S ≤ −2

Tabla 4. *Valores de S para precipitación*

Si hay valores vinculados en la muestra, la varianza se calcula mediante la Ecuación 6.

$$Var\,(s) = \frac{n(n-1)\,(2n+5) - \sum_{i=1}^{m} t_i\,(i)(i-1)(2i+5)}{18} \qquad (6)$$

Donde t_i es el número de empates de la muestra *i*, y la suma es el empate total. Ahora, el estadístico Z para todos los casos en los que *n* es mayor que 10 viene dado por:

$$Z = \begin{cases} \dfrac{S-1}{\sqrt{Var\,(S)}}, S > 0 \\ 0, S = 0 \\ \dfrac{S+1}{\sqrt{Var\,(S)}}, S < 0 \end{cases} \qquad (7)$$

Los valores positivos Z indican una tendencia al alza en la serie temporal hidrológica, lo que significa que las precipitaciones están aumentando con el tiempo (tendencia positiva). Por el contrario, los valores Z negativos indican una tendencia a la baja, lo que implica una disminución en las precipitaciones a lo largo del tiempo (tendencia negativa). Si $|Z| > Z_{1-\alpha/2}$, H_0 se rechaza y existe una tendencia estadísticamente significativa. El valor crítico $Z_{1-\alpha/2}$ para un *p-value* de 0.05 de la tabla normal estándar es 1.96 (21). También, es importante considerar el coeficiente τ de Kendall, el cual es un estadístico utilizado para medir la fuerza y dirección de la tendencia en el conjunto de datos en una serie temporal (22), se calcula mediante la Ecuación 8.

$$\tau = \frac{2\,S}{n\,(n-1)} \qquad (8)$$

Otra manera de estimar este coeficiente es mediante la Ecuación 9.

$$\tau = \frac{S}{D} \qquad (9)$$

Donde D se calcula mediante la Ecuación 10.

$$D = \left[\frac{1}{2}n(n-1) - \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{m} t_i\,.\,i(i-1)\right] 1/2 \left[\frac{1}{2}n(n-1)\right] 1/2 \qquad (10)$$

III. RESULTADOS

La información pluviométrica mensual fue transformada en precipitación anual acumulada. Posteriormente, se realizó la visualización de las

diferentes series temporales y su variabilidad, como se muestra en las Figuras 3 y 4. Esto permitió ilustrar gráficamente las fluctuaciones de la precipitación en la cuenca de estudio a lo largo de los 34 años de análisis.

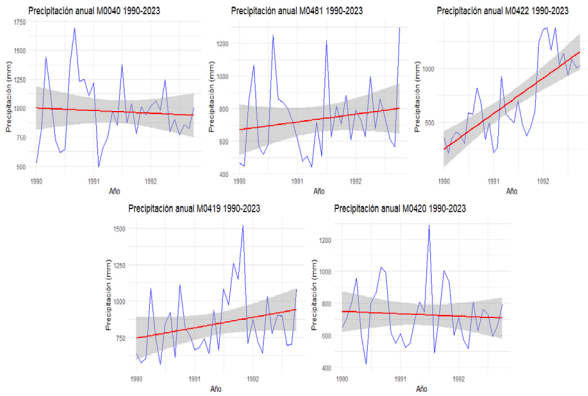

Figura 3. *Series temporales de precipitación acumulada anual de estaciones del INAMHI (1990-2023)*

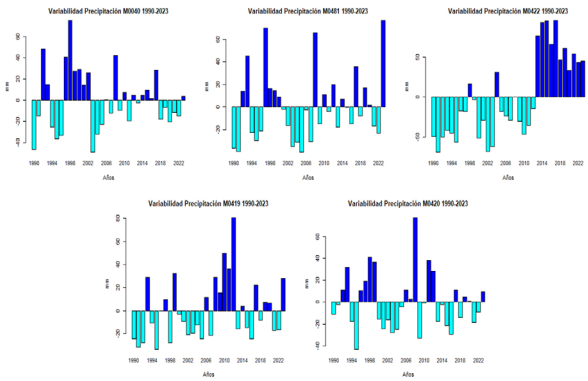

Figura 4. *Variabilidad de la precipitación acumulada anual de estaciones del INMAHI (1990-2023)*

Antes de aplicar la prueba de Mann-Kendall a la serie temporal de los niveles anuales de precipitación en la cuenca hidrográfica del río Jubones, es fundamental determinar si los datos presentan correlación serial. De ser así, es necesario emplear la prueba de Mann-Kendall junto con un método de bootstrap en bloque para adecuarse a esta característica de las series pluviométricas. En ausencia de correlación serial, la prueba de Mann-Kendall puede aplicarse directamente sin ajustar el valor P.

La presencia de correlación serial en las series anuales de precipitación del área de estudio pudo evaluarse visualmente mediante las gráficas de autocorrelación y autocorrelación parcial. En la Figura 5, se presentan dichas gráficas, donde solo la estación M0422 mostró una correlación serial significativa. Las demás estaciones exhibieron autocorrelaciones y autocorrelaciones parciales no significativas.

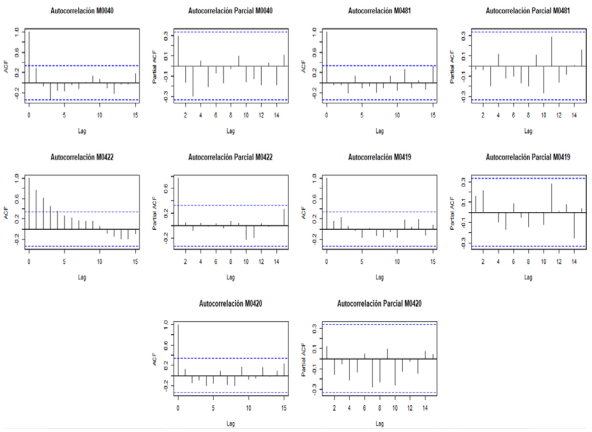

Figura 5. *Variabilidad de la precipitación acumulada anual de estaciones del INMAHI (1990-2023)*

Considerando las particularidades necesarias, se realizó la prueba no paramétrica de Mann-Kendall para analizar las tendencias en las series temporales de las estaciones del INAMHI en la cuenca hidrográfica del río Jubones. Este análisis permitió identificar las tendencias de precipitación en la cuenca, proporcionando una comprensión más profunda de los patrones pluviométricos a lo largo del tiempo. La Tabla 5, muestra las métricas de Mann-Kendall.

Estación INAMHI	Prueba No Paramétrica Mann-Kendall							
	S	τ	Var(S)	p-value	α	Z	Interpretación hipótesis	Interpretación tendencia
M0040	-15	-0.027	4550.333	0.836	0.05	-0.208	Rechazar H_0	Decreciente
M0481	71	0.127	4550.333	0.299	0.05	1.038	Rechazar H_0	Creciente
M0422	-1	-0.002	0.041	0.016	0.05	4.062	Aceptar H_0	Creciente
M0419	121	0.216	4550.333	0.075	0.05	1.779	Rechazar H_0	Creciente
M0420	-23	-0.041	4550.333	0.744	0.05	-0.326	Rechazar H_0	Decreciente

S: Estadístico de Mann-Kendall. τ: Tau de Kendall. Var(S): Varianza de S. α: Nivel de significancia. Z: Estadístico Z

Tabla 5. *Resultados de Mann-Kendall para precipitaciones acumuladas anuales en la cuenca hidrográfica del río Jubones*

IV. DISCUSIÓN

En este estudio se llevó a cabo un análisis de las tendencias de precipitación anual acumulada en la cuenca hidrográfica del río Jubones, utilizando la prueba no paramétrica de Mann-Kendall. Los datos se obtuvieron de cinco estaciones meteorológicas del INAMHI y de sensores satelitales, abarcando un periodo de 34 años, desde 1990 hasta 2023. Al presentar una alta variabilidad, no normalidad y no linealidad en la variable de precipitación, Mann-Kendall presenta ser una técnica adecuada para afrontar estas limitaciones ante otras técnicas paramétricas o no paramétricas (23).

Fue necesario realizar un estudio con datos actualizados de una de las cuencas hidrográficas más importantes en el sur del país, debido a que estudios anteriores al nuevo milenio revelan patrones de cambio en distintas variables climatológicas como lo son la precipitación y la temperatura (24). Entonces, en esta investigación se evidenció una importante tendencia al alza y a la baja en varias estaciones meteorológicas. Estos resultados coinciden con las conclusiones de trabajos anteriores donde se destaca una alta variabilidad y escenarios climáticos cambiantes (25). Los resultados del análisis, detallados en la Tabla 5, permitieron una comprensión profunda de los patrones de tendencia en las precipitaciones de la región. Para la estación M0040, el estadístico S fue -15 y τ fue -0.027, con un *p-value* de 0.836. Dado que el *p-value* es mayor que 0.05, se rechaza la hipótesis nula, indicando que existe una tendencia negativa en las precipitaciones. El estadístico Z fue -0.208, apoyando este hallazgo. Esto coincide con los estudios previos que han mostrado una variabilidad considerable sin una tendencia clara en ciertas regiones (26).

En la estación M0481, se obtuvo un estadístico S de 71 y un τ de 0.127, con un *p-value* de 0.299. Este resultado también lleva a rechazar la hipótesis nula, sugiriendo la presencia de una tendencia significativa en las precipitaciones. El estadístico Z para esta estación fue 1.038. La existencia de tendencias significativas en estas estaciones puede estar relacionada con la influencia de factores climáticos regionales que modulan la variabilidad interanual de las precipitaciones (27). La estación M0422 presentó un estadístico S de -1 y τ de -0.002, con un *p-value* de 0.016, el *p-value* es menor que 0.05, lo que implica que se acepta la hipótesis nula, indicando que los datos son independientes y aleatorios. El estadístico Z fue 4.062, lo que confirmó la falta de una tendencia significativa (28). Este hallazgo fue consistente con investigaciones que han documentado que la variabilidad climática puede llevar a series temporales sin tendencias significativas en ciertos contextos geográficos y temporales (29). Para la estación M0419, el estadístico S fue 121 y τ fue 0.216, con un *p-value que es mayor a 0.05, se rechaza la hipótesis nula, sugiriendo la presencia de una tendencia significativa en las precipitaciones. El estadístico Z fue 1.779, la presencia de tendencias significativas en esta estación reflejó una estabilidad relativa en las precipitaciones a lo largo del tiempo, posiblemente influenciada por cambios climáticos de largo plazo (30). Finalmente, la estación M0420 mostró un estadístico S de -23 y un τ de -0.041, con un p-value* de 0.744. Este resultado llevó a rechazar la hipótesis nula, indicando la presencia de una tendencia significativa en las precipitaciones. El estadístico Z fue -0.326. La presencia de tendencias significativas en varias estaciones sugirió que las precipitaciones en la cuenca del río Jubones no son completamente aleatorias e independientes (31). Esto podría estar relacionado con factores atmosféricos como la Oscilación del Sur-El Niño (ENSO), que influye notablemente en los patrones de precipitación en la región de América del Sur (32).

Por otro lado, los resultados de la prueba Mann-Kendall mostró al menos una tendencia significativa en la cuenca de estudio, esto considera la presencia de cambio climático en la región (33). La evaluación temporal de la acumulación de precipitaciones es fundamental para analizar patrones y su relación con diferentes modos de variabilidad climática, como la Oscilación del Sur a través de los fenómenos de El Niño y La Niña. Además, permitiócalcular la agresividad de la precipitación, lo cual es crucial para evaluar el potencial erosivo de las precipitaciones y la erosión del suelo (34). La única estación que no mostró una tendencia significativa fue M0422, con datos independientes y aleatorios en las precipitaciones. Las demás estaciones presentaron tendencias significativas, sugiriendo que las precipitaciones en la cuenca hidrográfica mostraron tendencias observables. Este análisis es crucial dado que la detección de tendencias en los datos de precipitación puede indicar cambios climáticos significativos que afectan la disponibilidad de agua, la planificación agrícola y la gestión de recursos hídricos (35).

V. CONCLUSIONES

El análisis de Mann-Kendall ha revelado tendencias significativas en las precipitaciones anuales acumuladas en la cuenca hidrográfica del río Jubones durante el período de 34 años (1990-2023). Las estaciones M0040, M0481, M0419 y M0420 mostraron patrones de tendencia significativos, con valores de τ y p-value que indican la presencia de tendencias tanto positivas como negativas. Estos resultados sugieren que las precipitaciones en la cuenca no son completamente aleatorias e independientes, y están influenciadas por factores climáticos regionales, como la Oscilación del Sur-El Niño (ENSO). Estos hallazgos proporcionan una base sólida para la predicción y estimación a largo plazo del recurso hídrico en la región.

La mayoría de las estaciones analizadas mostraron una variabilidad notable en las precipitaciones, lo que es crucial para la formulación de estrategias de mitigación y adaptación frente a eventos climáticos extremos. Estos resultados son esenciales para anticipar cambios en la disponibilidad de agua, mejorar la planificación agrícola y desarrollar medidas efectivas para gestionar el potencial erosivo de las precipitaciones y la erosión del suelo en la región.

VI. REFERENCIAS

1. Matovelle C, Andreo B, Mudarra M. Análisis de la influencia de la altitud en los eventos de máxima precipitación en una cuenca del Pacífico: tendencias y variabilidad. Inf Tecnol. 2021;32(6):3–12.
2. Arias A. Estudio de la variabilidad climática en un transecto andino-tropical en el austro ecuatoriano mediante la identificación de teleconexiones [Tesis]. Cuenca (EC): Universidad de Cuenca; 2020.
3. Chen Y, Liu H, An J, Görsdorf L, Berger FH. A field experiment on the small-scale variability of rainfall based on a network of micro rain radars and rain gauges. J Appl Meteorol Climatol. 2015;54(1):243–255.
4. Nandargi S, Gaur A, Mulye SS. Hydrological analysis of extreme rainfall events and severe rainstorms over Uttarakhand, India. Hydrol Sci J. 2016;61(12):2145–2163.
5. Tongal H. Spatiotemporal analysis of precipitation and extreme indices in the Antalya Basin, Turkey. Theor Appl Climatol. 2019;138(3–4):1735–1754.
6. McPhillips LE, Chang H, Chester MV, Depietri Y, Friedman E, Grimm NB, et al. Defining extreme events: a cross-disciplinary review. Earths Future. 2018;6(3):441–455.
7. Croitoru AE, Piticar A, Burada DC. Changes in precipitation extremes in Romania. Quat Int. 2016;415:325–335.
8. Forestieri A, Lo Conti F, Blenkinsop S, Cannarozzo M, Fowler HJ, Noto LV. Regional frequency analysis of extreme rainfall in Sicily (Italy). Int J Climatol. 2018;38(5–1):698–716.
9. López C, Vera P. Modelación hidrológica e hidrodinámica para el estudio de inundaciones en la cuenca baja del río Jubones ante diversos escenarios de funcionamiento del embalse Minas-San Francisco [Tesis]. Cuenca (EC): Universidad Católica de Cuenca; 2020.
10. Mora A, Zavala A, Sánchez T. Impacto socio-económico en el sector Sarayunga: caso construcción hidroeléctrica Minas San Francisco en el periodo 2011–2016. Rev Tecnol ESPOL. 2017;30(1):114–128.
11. Espinoza K, Pozo W, Macas V, Sánchez J. Situación actual del Río Jubones en el Ecuador, un análisis de los metales traza, calidad y parámetros fisicoquímicos del agua. Rev Cient Arb Multidiscip PENTACIENCIAS. 2022;4(2):292–307
12. León M. Diseño de explotación para materiales pétreos en el río Jubones de la concesión minera

Sánchez [Tesis]. Cuenca (EC): Universidad del Azuay; 2017.

13. Cabezas J, Yacelga M. Determinación de la agresividad de la precipitación de la cuenca del río Jubones, periodo 1980–2000 [Tesis]. Latacunga (EC): Universidad Técnica de Cotopaxi; 2021.
14. WMO. WMO Guidelines on the Calculation of Climate Normals. Geneva: World Meteorological Organization; 2017.
15. Mann HB. Non-parametric test against trend. Econometrica. 1945;13(3):245–259.
16. Kendall MG. Rank correlation methods. 4th ed. San Francisco: Charles Griffin; 1975.
17. Hajani E, Rahman A, Haddad K. Trend analysis for extreme rainfall events in New South Wales, Australia. Int J Environ Ecol Geol Mar Eng. 2014;8(12):834–839.
18. Chen Y, Guan Y, Shao G, Zhang D. Investigating trends in streamflow and precipitation in Huangfuchuan Basin with wavelet analysis and the Mann–Kendall test. Water (Basel). 2016;8(3):77.
19. Soldini L, Darvini G. Extreme rainfall statistics in the Marche region, Italy. Hydrol Res. 2017;48(3):686–700.
20. McKee T, Doeskin N, Kleist J. The relationship of drought frequency and duration to time scales. In: Eighth Conference on Applied Climatology; Anaheim (CA): American Meteorological Society; 1993:179–183.
21. Ahmad I, Tang D, Wang T, Wang M, Wagan B. Precipitation trends over time using Mann–Kendall and Spearman's Rho tests in SWAT River Basin, Pakistan. Adv Meteorol. 2015;2015:431860.
22. Sanogo A, Songotu R, Appiah P, Issa B, Fosu R, Dia N. Investigation into recent temperature and rainfall trends in Mali using Mann–Kendall trend test: case study of Bamako. J Geosci Environ Prot. 2023;11(3):155–172.
23. Kougbeagbede H. Detection of annual rainfall trends using innovative trend-analysis method in Benin. Int J Glob Warm. 2023;32(1):56–64.
24. Cáceres L, Mejía R. Evidencias del cambio climático en Ecuador. Bull Inst Fr Études Andines. 1998;27(3):547–556.
25. Montenegro M, Mendoza D, Mora D, García F, Avilés A. Extreme rainfall variations under climate change scenarios: case of study in an Andean tropical river basin. Water Resour Manag. 2022;36(15):5931–5944.
26. Luna A, Ramírez I, Sánchez C, Conde J, Agurto L, Villaseñor D. Distribución espacio-temporal de la precipitación en la cuenca del río Jubones, Ecuador: 1975–2013. Scientia Agropecuaria. 2018;9(1):63–70.
27. Obregón GO, Marengo JA, Nobre CA. Rainfall and climate variability: long-term trends in the Metropolitan Area of São Paulo in the 20th century. Clim Res. 2014;61(2):93–107.
28. Sridhar SI, Raviraj A. Statistical trend analysis of rainfall in Amaravathi River Basin using Mann–Kendall test. Curr World Environ. 2017;12(1):89–96.
29. Patle GT, Libang A, Ahuja S. Analysis of rainfall and temperature variability and trend detection: a non-parametric Mann–Kendall test approach. In: 3rd Int Conf Comput Sustain Glob Dev (INDIACom); 2016 Mar 16–18; New Delhi (IN): IEEE; 2016:1723–1727.
30. Sa'adi Z, Yusop Z, Alias NE. Long-term homogeneity and trend analysis of seasonality and extreme rainfall under the influence of climate change in Johor River Basin, Malaysia. Nat Hazards. 2023;117(2):1813–1845.
31. Andrade J, Torres H, López J, Rojas A. Análisis espacio-temporal de la homogeneidad de estaciones de precipitación en una zona árida y semiárida del Centro Occidente de Venezuela. Ciencia e

Ingeniería. 2019;40(2):185-194.

32. Feng S, Hao Z. Quantitative contribution of ENSO to precipitation-temperature dependence and associated compound dry and hot events. Atmospheric Research. 2021;260:105695.

33. López G, Gaiser T, Ewert F, Srivastava A. Effects of recent climate change on maize yield in southwest Ecuador. Atmosphere (Basel). 2021;12(3):299.

34. Valdés-Pineda R, Pizarro R, Valdés JB, Carrasco JF, García-Chevesich P, Olivares C. Spatio-temporal trends of precipitation, its aggressiveness and concentration, along the Pacific coast of South America (36–49°S). Hydrological Sciences Journal. 2016;61(11):2110-2132.

35. Sarzaeim P, Bozorg-Haddad O, Fallah-Mehdipour E, Loáiciga HA. Climate change outlook for water resources management in a semiarid river basin: the effect of the environmental water demand. Environ. Earth Sci. 2017;76(1):498.