

ANÁLISIS DE TENDENCIAS Y VARIABILIDAD DE LA PRECIPITACIÓN EN LAS CUENCAS NOROESTE DEL ECUADOR

ANALYSIS OF TRENDS AND VARIABILITY OF PRECIPITATION IN THE NORTHWESTERN BASINS OF ECUADOR

Luis Matailo-Ramírez^{1,2*}

E-mail: lmatailo2@utmachala.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8306-9470>

Richard Omar Ramirez-Vargas³

E-mail: richard.ramirezvargas@upse.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-9340-3085>

Stefany Karelis Mereci-Pinza⁴

E-mail: stefany.mereci.58@est.ucacue.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-1086-6149>

¹Universidad Técnica de Machala, El Oro, Ecuador.

²Semillero de Investigación en Fitotecnia (SINFIT)

³Universidad Estatal Península de Santa Elena, La Libertad, Ecuador.

⁴Universidad Católica de Cuenca, Cuenca, Ecuador.

Cita sugerida (APA, séptima edición)

Matailo-Ramírez, L., Ramirez-Vargas, R. O., Mereci-Pinza, S. K. (2023). *Análisis de tendencias y variabilidad de la precipitación en las Cuencas Noroeste del Ecuador*. *Revista Científica Agroecosistemas*, 11(2), 107-113. <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes>

RESUMEN

Examinar las alteraciones en la oferta hídrica asociadas a la variabilidad climática, es de gran importancia para ajustar adaptaciones frente a los cambios actuales y futuros, para esto se requiere comprender cambios históricos espacio-temporales en el patrón regional de lluvias. Es por ello que, se analizaron las tendencias y la variabilidad de la precipitación (1980-2015) en escalas de la lluvia anual y mensual; mediante la aplicación de las pruebas no-paramétricas de Mann-Kendall y Cusum en 20 estaciones pluviométricas, pertenecientes de las cuencas de los ríos Esmeraldas, Mira y Cañar ubicada al extremo nor-oeste del territorio ecuatoriano. En los resultados, la precipitación anual tuvo tendencias significativas en el test EMK en la estación (M0001) y saltos en la media anual para las estaciones (M0301 y M0345) aplicando el test de cusum, la precipitación mensual no presentó significancia para ninguno de los 2 test aplicados, con respecto a la variabilidad se encontró que la mayoría de las estaciones presentan una mayor precipitación a mayor altitud esto se debe a el efecto Foëhn siendo este uno de los factores más importantes que determinan las características climáticas las cuencas, concentrándose las mayores precipitaciones en las regiones de mayor altitud.

Palabras clave:

Precipitación, Mann-kendall, Cusum, Estaciones.

ABSTRACT

Examining alterations in water supply associated with climate variability is of great importance for adjusting adaptations to current and future changes, which requires understanding historical spatio-temporal changes in the regional rainfall pattern. For this reason, the trends and variability of precipitation (1980-2015) in annual and monthly rainfall scales were analyzed through the application of non-parametric Mann-Kendall and Cusum tests in 20 rainfall stations, belonging to the basins of the Esmeraldas, Mira and Cañar rivers located in the extreme northwest of the Ecuadorian territory. In the results, the annual precipitation had significant tendencies in the EMK test at station (M0001) and jumps in the annual mean for stations (M0301 and M0345) applying the Cusum test, the monthly precipitation did not present significance for any of the 2 tests applied, With respect to variability, it was found that most of the stations have higher precipitation at higher altitudes, this is due to the Foëhn effect, which is one of the most important factors that determine the climatic characteristics of the basins, concentrating the highest precipitation in the regions of higher altitude.

Keywords:

Precipitation, Mann-kendall, Cusum, Seasons.

INTRODUCCIÓN

La variabilidad y el cambio climático (VCC) cada día están teniendo fuertes repercusiones sobre múltiples variables meteorológicas estimulando cambios en la precipitación que afectan directamente la disponibilidad hídrica que está fuertemente ligada a sequías donde paralelamente se generan problemas en los recursos naturales como la degradación de suelos y por lo tanto la pérdida de biodiversidad, efectos conocidos conjuntamente como desertificación, que se están presentando con mayor intensidad y frecuencia como resultado del cambio climático y conjuntamente con las actividades antropógenas generan más extremos los eventos atmosféricos. Así mismo, la planificación de acciones que minimicen esos impactos requieren del análisis y detección de las modificaciones históricas sobre las características espaciales y temporales en el régimen pluviométrico (Matailo-Ramirez et al., 2019; García Rengifo & Durán-Ballén, 2023).

Estudiar la variabilidad del clima regional es de fundamental importancia, ya que de aquí se puede planificar el manejo de recursos naturales de un país; sin embargo, evaluar la variabilidad climática y los mecanismos que producen los cambios es muy complicado. La forma más fácil de analizar e interpretar el clima promedio de una región es en términos de medias anuales o estacionales de temperatura y/o precipitación (Villegas et al., 2021). Se han divulgado numerosos informes acerca del VCC en hidrología y ciencias atmosféricas, donde se utilizan principalmente técnicas para examinar tendencias y cambios en la estacionariedad con el objetivo de detectar patrones generales en la media y la variabilidad de las series temporales. (Campos-Aranda, 2019). A escala regional, la precipitación se caracteriza por presentar una alta variabilidad espaciotemporal y se desconoce la existencia de cambios por tendencias y estacionariedad, dada la creciente preocupación por la incidencia de VCC. Además, en la zona Sur del Ecuador donde se ubica la Cuenca Esmeraldas tiende la necesidad de este tipo de estudios, dado que se muestra un aumento gradual del número de fenómenos climáticos, en particular de inundaciones, sequías y temperaturas extremas.

Recientemente se ha acumulado enorme evidencia de que el clima en Ecuador exhibe fluctuaciones distintas a los registrados años atrás. En 2018, el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología catalogó el mes de abril como uno de los meses más secos en los últimos 30 años, siendo Manabí una de las provincias más afectadas con una pérdida de producción de al menos 49 000 hectáreas de maíz lo que generó pérdidas de inversión de USD\$ 1500 por hectárea (Matailo-Ramirez et al., 2019).

Es crucial evaluar cualquier posible alteración en los patrones de lluvia ya que la precipitación juega un papel fundamental en la gestión de los recursos naturales, esto se debe a que controla una amplia gama de actividades económicas, desde la agricultura y la ganadería hasta la explotación forestal, y puede incluso afectar al comportamiento y desarrollo social (Hidalgo, 2017). El interés actual por comprender las causas de la variabilidad climática se debe a la creciente conciencia de que el clima está cambiando y de que estos cambios pueden tener efectos significativos en la sociedad y el medio ambiente. Para entender mejor estos cambios y predecir sus efectos, es necesario examinar las tendencias a largo plazo de las variables climáticas, como la temperatura y las precipitaciones, y analizar cómo estas tendencias pueden estar relacionadas con factores como las emisiones de gases de efecto invernadero y la actividad humana en general. En resumen, analizar las tendencias de las series de variables climáticas es una herramienta crucial para comprender y abordar el cambio climático (Lopez et al., 2021).

En consecuencia, el test estadístico no paramétrico de Mann-Kendall, junto con el test de Cusum, se han empleado con frecuencia para evaluar la significancia y cambios en las tendencias de las series temporales hidrometeorológicas. La principal ventaja de este método, en comparación con otras técnicas paramétricas, es su capacidad para manejar distribuciones que no siguen una distribución normal, lo cual es común en las series hidroclimáticas. Es por ello que en este estudio se presenta la aplicación de esos 2 test para estimar los saltos y tendencias en la precipitación entre 1990 y 2015, a escalas anual y mensual según el régimen bimodal con dos períodos lluviosos y dos períodos secos durante el año (Farfán Portilla, 2018; Maldonado et al., 2021).

MATERIALES Y MÉTODOS

DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

Las cuencas de los ríos Esmeraldas, Mira y Cañar están ubicadas al extremo nor-este del territorio nacional ecuatoriano, comprendidas por las provincias de Esmeraldas en la zona costera, Carchi e Imbabura en la zona Andina (Figura 1). El sistema hidrográfico de Esmeraldas cuenta con un área de 32,043 km² compuesta por más de 30 ríos, siendo el río Esmeraldas el de mayor flujo principal con 236 km, y contando con una superficie de cuenca dentro del Ecuador 21,673 km² y escorrentía media multianual de 28,677 hm³, la cuenca del río Mira cubre una extensión de 6,538 km².

El Modelo Digital de Elevación (DEM) suministrado por la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio

(NASA) a través de la Misión de Radar Topográfico del Transbordador Espacial (SRTM), permite visualizar la accidentada topografía de la zona (<https://srtm.usgs.gov/index.html>). Los datos SRTM están disponibles con una resolución aproximada de 90 metros. La cuenca del río Esmeraldas nace tras la unión de los ríos Canande, Guayllabamba, que recorren parte de la provincia de Pichincha, y Quinindé formado por la unión de ríos Manabitas y Pichinchano que a su vez desemboca en el puerto de Esmeraldas, La cuenca del río Mira nace en la laguna de Culebrillas con el nombre de San Antonio, y desemboca en el golfo de Guayaquil. La relevancia del área de estudio para esta investigación se debe no solo a su complejidad orográfica, sino también a que desde el año 2011 se ha registrado un cambio del 0,2% en la cobertura forestal, con una pérdida promedio anual de 31,250 hectáreas de bosque. Este cambio se ha convertido en una de las principales causas que contribuyen a la intensificación de la variabilidad climática en la región, junto con otros factores.

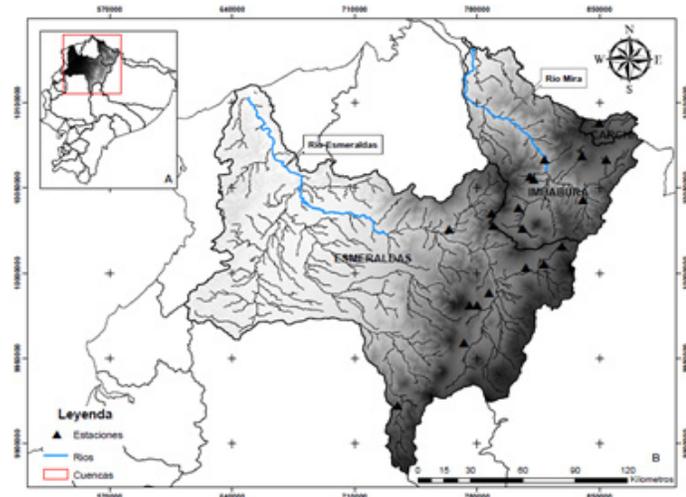


Figura 1. Ubicación de la zona de estudio A) Mini mapa de ubicación de las Cuencas de estudio en el Mapa del Ecuador, B) Cuencas de los ríos Esmeraldas, Mira y Cañar con sus respectivas estaciones de estudios

Dentro del contexto de esta investigación, se recolectó información sobre la precipitación a nivel mensual utilizando datos proporcionados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador (INAMHI) de 20 estaciones pluviométricas ubicadas en las cuencas de los ríos Esmeraldas, Mira y Cañar. La serie temporal se registra a escala mensual y abarca un período promedio de 30 años, desde 1980 hasta 2015. Se excluyeron del análisis aquellas estaciones que presentaron un porcentaje de datos faltantes superior al 30%. Los detalles se pueden encontrar en la Tabla 1.

Tabla 1. Estaciones pluviométricas seleccionadas de las Cuencas de los ríos Esmeraldas, Mira y Cañar serie 1980-2015

Código	Nombre	Altitud
		msnm
M0001	INGUINCHO	3140
M0003	IZOBAMBA	3058
M0023	OLMEDO-PICHINCHA	3120
M0024	QUITO INAMHI-INNAQUITO	2789
M0102	EL ANGEL	3000
M0103	SAN GABRIEL	2860
M0105	OTAVALO	2550
M0107	CAHUASQUI-FAO	2335
M0301	FF CC CARCHI	1280
M0308	TUFINNO	3418
M0312	PABLO ARENAS	2340
M0315	PIMAMPIRO	2090
M0325	GARCIA MORENO	1950
M0328	HDA.LA MARIA-ANEXAS(LETCIA)	2600
M0345	CALDERON	2645
M0357	CANAL 10 TV.	3780
M0359	CAYAMBE	2840
M0363	SIGCHOS	2880
M0909	GUALSAQUI	2710
M1094	TOMALON-TABACUNDO	2790

Fuente: Elaboración propia

Análisis exploratorio de los datos (AED)

Antes de utilizar los diferentes métodos de completación de datos, se realizó el AED a las 38 estaciones seleccionadas en un inicio como operativas y completas, este análisis de la base de datos fue realizado en el programa R studio <https://www.r-studio.com/es/>, usando el package 'outliers' con la finalidad de entender mejor las características y patrones de la precipitación. Este tipo de análisis se utiliza para identificar posibles patrones estacionales o tendencias a largo plazo en la precipitación, así como para detectar valores atípicos o errores en los datos.

Método de regresión lineal

Hay varios enfoques para completar datos faltantes de precipitación. En este estudio, se aplicó el método de regresión simple para rellenar los datos faltantes de cada estación pluviométrica que cumplió el criterio de tener menos del 30% de datos faltantes en total. Se utilizó el

método de regresión lineal simple, que es uno de los métodos más comunes para la estimación de datos mensuales y anuales. Este método consiste en calcular los valores faltantes a través de una línea de regresión que relaciona los valores observados con los valores faltantes. Se requiere establecer una regresión y correlación lineal con la estación patrón consistente, mediante una ecuación lineal de dos variables:

$$y=a+bx \quad (1)$$

Donde; y es la precipitación estimada, x es la precipitación de la estación patrón, y, a y b son las constantes de la regresión lineal.

A través del coeficiente de correlación (R) se determina la mejor estación vecina más cercana como patrón (De Souza et al., 2022).

Para la prueba de homogeneidad y regionalización se utilizó el método del vector regional (MVR) (Arriola et al., 2022). El MVR consiste en crear una estación ficticia (vector regional, VR) de todas las estaciones de la zona, que se compara con cada estación; la crítica de los datos de cada estación es a partir de las desviaciones relativas y el coeficiente de correlación con respecto al VR. Se pudo determinar un VR con estaciones homogéneas, las cuales fueron utilizadas para la completación de datos faltantes de la serie (Figura 2 A y B).

Evaluación de tendencias

Luego del análisis exploratorio de cada serie de precipitación, se determinaron las tendencias a escala anual y mensual utilizando el test no paramétrico Estacional de Mann-Kendall (EMK), que fue propuesto y descrito por Hirsch et al., (1982). Este test es una modificación de la prueba de Mann y Kendall y es útil para su utilización con datos que presenten una componente estacional, como los datos climatológicos (Marquez et al., 2022). Se consideró la hipótesis nula de que no hay tendencia en la serie (estable en media), mientras que la hipótesis alternativa plantea la existencia de una tendencia en la serie con un nivel de confianza del 90%, 95% y 99%. El test de Cusum, un método paramétrico, también se utilizó posteriormente para medir saltos o cambios en la información.

Los cálculos se realizaron con el software libre TREND <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-tools/trend-analysis>, TREND está diseñado para facilitar las pruebas estadísticas de tendencias, cambios y aleatoriedad en datos hidrológicos y de otras series de tiempo. TREND tiene 12 pruebas estadísticas, basadas en el Taller de expertos de la OMM / UNESCO sobre detección de tendencias / cambios y en la publicación del CRC para la hidrología de cuencas hidrográficas (Pérez-Ortiz et al., 2022).

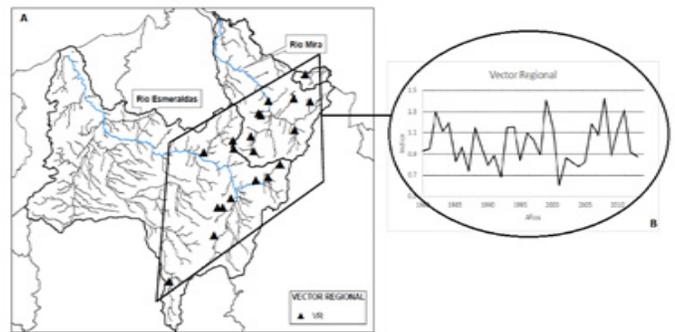


Figura 2. Vector Regional. A) Homogenización de la precipitación para las 20 estaciones de estudio mediante la aplicación del vector regional (VR) B) VR para estaciones que representa la región homogénea entre estaciones

Relación entre elevación y precipitación

La topografía del terreno tiene una gran influencia en la cantidad de precipitación que se recibe en una determinada zona. Cuando la elevación del terreno es alta, es común que se produzca un aumento local en la cantidad de precipitación que se registra en esa área, al provocar la ascensión de las masas de aire saturadas de vapor de agua (Lapa Pocomucha, 2019). En otros estudios se han utilizado técnicas avanzadas, como la regresión lineal múltiple y las técnicas geoestadísticas, para determinar la relación entre las variables. Sin embargo, en este estudio se optó por utilizar la regresión lineal, considerando que las estaciones pluviométricas se encontraban cercanas entre sí (Padial-Iglesias et al., 2022).

Estacionalidad y Estacionaridad

En este análisis, se utilizó el coeficiente de variación estacional (CVs) y el coeficiente de variación interanual (CVi) para cuantificar la estacionalidad de la precipitación. Además, se estableció una relación entre la variabilidad estacional e interanual (CVs/CVi) con el fin de determinar qué tipo de variabilidad es más destacada en las cuencas de estudio (Luna-Romero et al., 2018).

En este estudio, se empleó la prueba de tendencia junto con el método de Kriging para analizar la estacionaridad de la precipitación. Se utilizó el coeficiente de Pearson, que es una técnica paramétrica que mide la correlación lineal entre las variables, así como el coeficiente de Mann-Kendall (M-K), una técnica no paramétrica que se basa en la probabilidad de rango del orden de ocurrencia de los datos. El coeficiente de M-K es considerado una herramienta útil para el análisis de tendencias en series climáticas (Ferreira et al., 2021).

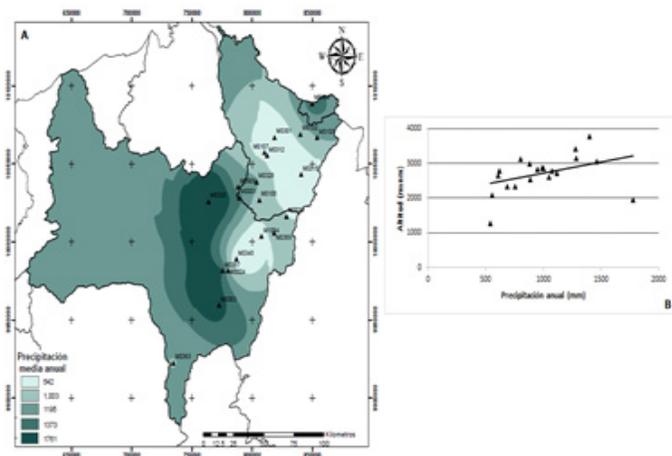


Figura 3. Disposición geográfica de la precipitación y su relación entre la elevación y la cantidad de precipitación en la región hidrográfica de los ríos Esmeraldas, Mira y Carchi. A) Precipitación media anual distribuida espacialmente por el método de Kriging, B) Relación entre la altitud (msnm) y la lluvia total anual (mm de las 20 estaciones pluviométricas mencionadas)

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Al obtener los resultados del test EMK en los registros de la precipitación mensual entre los años de 1980-2015, no se encontraron cambios significativos en ninguna de las estaciones descritas en este estudio además tampoco se encontró significancia en los saltos de la media mediante el test de cusum.

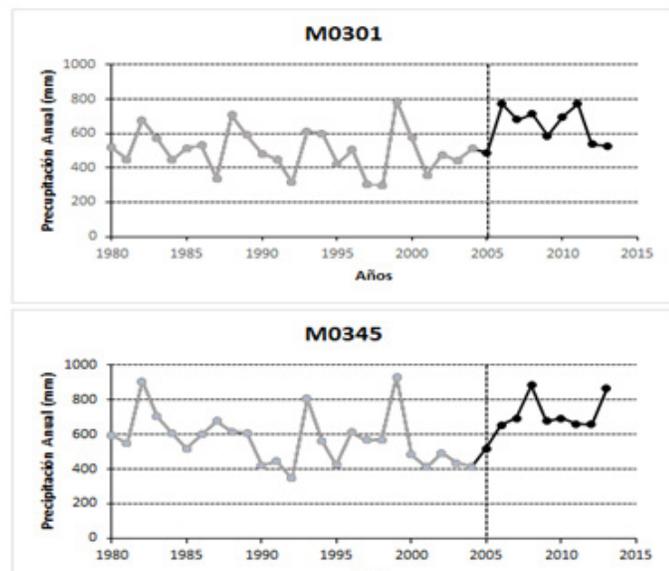


Figura 4. Saltos en la media de datos Anuales en la precipitación, estaciones M0301 y M0345 presentaron cambios en el año 2005

Al momento de analizar la precipitación a escala anual se detectaron cambios significativos al 90% en el test EMK para la estación M0001, con respecto a los cambios en la media de precipitación, 2 estaciones (10 % del total) presentaron cambios significativos mediante el test de

cusum en particular se ha observado una tendencia al aumento de la precipitación anual con un promedio de 50,88 mm/año, y esta tendencia ha sido significativa con un nivel de confianza del 95%. Estudios previos realizados por Hoffmann et al., (1997) sobre las tendencias asociadas al cambio climático en Sur América muestran que esta tendencia es coherente con los valores de la tensión de vapor y la precipitación que se han incrementado al norte de los 40°S desde 1940.

La relación entre la variabilidad estacional e interanual (CVs/CVi) reveló una gran variabilidad en la distribución de las precipitaciones en la zona del VR, donde en algunas estaciones como M0023, M0103, M0315 y M0359 la variabilidad estacional fue de dos a tres veces mayor que la variabilidad interanual. Por otro lado, las estaciones M0001 y M0102 presentaron una distribución de precipitaciones más uniforme, con menor variabilidad estacional en comparación con la variabilidad interanual.

La Figura 5B representa la precipitación anual promedio de las cuencas de estudio, la cual se obtuvo mediante la técnica de interpolación de Kriging. Aunque la línea de tendencia muestra una disminución en la precipitación, la prueba de Mann-Kendall no arrojó resultados significativos, lo que indica que la tendencia observada no es estacionaria.

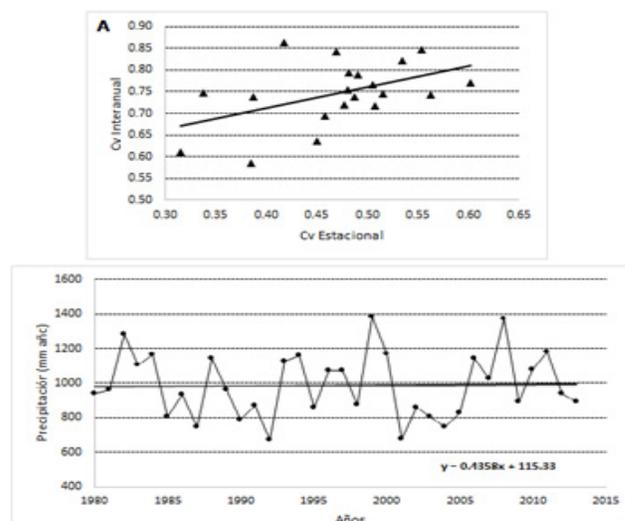


Figura 5. Estacionalidad y estacionariedad, A) Correlación entre la variabilidad interanual y estacional de la precipitación., B) Evolución de la precipitación interanual de las cuencas de la zona noroeste del Ecuador

La Figura 3A muestra que la variabilidad espacial de la precipitación anual media en las cuencas de Esmeraldas, Mira y Cañar es muy heterogénea. Todas las estaciones se encuentran a una altitud de más de 1000 metros sobre el nivel del mar, y algunas estaciones que se encuentran por encima de los 3000 metros sobre el nivel del mar, como M0001, M0003, M0308 y M0357, registraron altos valores de lluvia, entre 1287 y 1400 mm por año, a excepción de la estación M0325, que se encuentra a 1950 metros sobre el nivel del mar y registra la precipitación más alta con 1776 mm por año.

Algunas de las estaciones ubicadas en la región andina registraron una menor cantidad de precipitación debido a que se encuentran rodeadas por altas montañas, especialmente hacia el este. Entre ellas se encuentran la estación M0301 (1280 m.s.n.m.) con 536,58 mm. año-1, M0315(2090 m.s.n.m.) con 552,21 mm. año-1, M0345 (2645 m.s.n.m.) con 604,82 mm. año-1, M1094(2790 m.s.n.m.) 618,14 mm. año-1 y M0107 (2335 m.s.n.m.) con 685,90 mm. año-1, tal como se muestra en la Figura 1A.

Es necesario precisar que, en la zona norte y noroeste de las cuencas, donde presenta territorios de mayor altitud, la influencia mediterránea está atenuada, determinando el relieve, la disminución de las temperaturas y un ligero aumento de las precipitaciones concordando con el estudio de Gil et.al., (2011) esto debido a que los vientos dominantes del oeste, generan un cierto efecto Foëhn siendo este uno de los factores más importantes que determinan las características climáticas las cuencas, concentrándose las mayores precipitaciones en las regiones de mayor altitud.

CONCLUSIONES

El presente trabajo estudio las tendencias y variabilidad de datos de precipitaciones a escalas mensuales y anuales presentes en las Cuencas de los ríos Esmeraldas, Mira y Cañar. Primero identifiqué una zona homogénea mediante el vector regional (VR), donde todas las estaciones estaban ubicadas en la región Andina por encima de los 1000 m.s.n.m y la mayoría de estas presentaban un aumento en las precipitaciones además se pudieron identificar tendencias significativas solo a escala anual en el test EMK , así como respectivos saltos en la media de la precipitación anual representando el 10 % que corresponden a 2 estaciones (20 del total) de las estaciones totales a una escala anual, a escala mensual no se presentaron tendencias significativas para ninguno de los 2 test aplicados , definiendo así que la información presente es moderadamente heterogénea.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arriola, G., Idrogo, C., Marín, N., Piedra, J., & Villegas, L. (2022). Evaluación de la agresividad climática y concentración de precipitaciones en la cuenca Chancay-Lambayeque , Perú. *Revista Politécnica*, 50(2), 15–22. <http://scielo.senescyt.gob.ec/pdf/rpolit/v50n2/2477-8990-rpolit-50-02-00015.pdf>
- Campos-Aranda, D. F. (2019). Non-stationary frequency analysis by linear regression and LN31, LP31 y GVE1 distributions. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 10(6), 57–89. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2019-06-03>
- De Souza, V. A. S., Moreira, D. M., Filho, O. C. R., Rudke, A. P., Andrade, C. D., & De Araujo, L. M. N. (2022). Spatio-temporal analysis of remotely sensed rainfall datasets retrieved for the transboundary basin of the Madeira River in Amazonia. *Atmosfera*, 35(1), 39–66. <https://doi.org/10.20937/ATM.52783>
- Farfán Portilla, F. (2018). Agroclimatología del Ecuador. In E. U. Abya-Yala (Ed.), *Universidad Politécnica Salesiana* (Vol. 5, Issue 1). <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/17047>
- Ferreira, F. L. V., Rodrigues, L. N., da Silva, D. D., Teixeira, D. B. d. S., & de Almeida, L. T. (2021). Time Series Trends of Streamflow and Rainfall in The Santo Antônio River Basin, Brazil. *Engenharia Agricola*, 41(1), 47–55. <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v41n1p47-55/2021>
- García Rengifo, C. A., & Durán-Ballén, S. (2023). Variabilidad climática en la cuenca hidrográfica del río Chalpi Grande en Napo-Ecuador. *Enfoque UTE*, 14(1), 1–17. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.872>
- Gil, S., & López, F. (2011). Tendencia de las precipitaciones y temperaturas en una pequeña cuenca fluvial del sureste peninsular semiárido. *Boletín de La Asociación de Geógrafos Españoles*, 56, 349–371. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3722509>
- Hidalgo, M. (2017). Variabilidad climática interanual sobre el Ecuador asociada a ENOS. *CienciAmérica*, 6(2), 32–37. <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/367/3671559006/html/index.html>
- Hirsch, R. M., Slack, J. R., & Smith, R. A. (1982). Techniques of trend analysis for monthly water quality data. *Water Resources Research*, 18(1), 107–121. <https://chnep.wateratlas.usf.edu/upload/documents/Techniques-of-Trend-Analysis-for-Monthly-Water-Quality-Data.pdf>
- Hoffmann, J. A., Nuñez Silva, E., & Vargas, W. M. (1997). Temperature, humidity and precipitation variations in Argentina and the adjacent sub-antarctic region during the present century. *Meteorol. Zeitschrift*, N.F, 6, 3–11.
- Lapa Pocomucha, A. Y. (2019). Análisis Del Comportamiento Temporal De La Precipitación Durante La Estación De Verano En La Provincia De Candarave, Departamento De Tacna Periodo (1965 – 2010). In *Universidad Nacional Agraria La Molina*. <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/3012443>
- Lopez, N., Marquez, A. M., & Guevara, E. (2021). Predicción espacio-temporal del balance hídrico en la cuenca del río Urama, Venezuela. *Dyna*, 88(217), 58–67. <https://doi.org/10.15446/dyna.v88n217.88222>
- Luna-Romero, A., García-Batista, R., Uriguen, P., & Vega, F. (2018). Importancia económica de los servicios ecosistémicos de los humedales: La Tembladera. *Revista Científica Agroecosistemas*, 6(3), 40–48.

- Maldonado, T., Alfaro, E. J., & Hidalgo, H. G. (2021). Análisis de los conglomerados de precipitación y sus cambios estacionales sobre América Central para el período 1976-2015. *Revista de Matemática: Teoría y Aplicaciones*, 28(2), 337–362. <https://doi.org/10.15517/rmta.v28i2.42322>
- Marquez, A. M., Guevara Pérez, E., Pérez Pacheco, S. A., & Buroz Castillo, E. (2022). Spatio-temporal prediction of water production in basins without records. *Dyna*, 89(220), 110–120. <https://doi.org/10.15446/dyna.v89n220.95985>
- Matailo-Ramirez, L. M., Luna-Romero, A. E., Cervantes Alava, A. R., & Vega Jaramillo, F. Y. (2019). Sequias: Efecto sobre los recursos naturales y el desarrollo sostenible. *Revista Científica Agroecosistemas*, III, 154–162. <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/331>
- Orozco, O. L. P., Escobar, Y. C., & Angel, M. Q. (2011). Estudio de tendencias de la precipitación mensual en la cuenca alta-media del río Cauca, Colombia. *DYNA (Colombia)*, 78(169), 112–120. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0012-73532011000500013
- Padial-Iglesias, M., Pons, X., Serra, P., & Ninyerola, M. (2022). Does the gap-filling method influence long-term (1950–2019) temperature and precipitation trend analyses? *GeoFocus Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de La Información Geográfica*, 5–33. <https://doi.org/10.21138/gf.773>
- Pérez-Ortiz, M. A., Montenegro-Murillo, D. D., & Vargas-Franco, V. (2022). Analysis of the influence of climatic variability on precipitation in the Cali River basin, Colombia. *DYNA (Colombia)*, 89(221), 168–177. <https://doi.org/10.15446/dyna.v89n221.101607>
- Villegas, O. C., Muro-Pérez, G., Jurado, E., Flores, J., Castañeda-Gaytan, J. G., Aguirre, O., & Sánchez, J. (2021). Trends of climate change at the mid-low Nazas-Aguanaival inland basin based on a geographical approach. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 8(3), 1–10. <https://doi.org/10.19136/era.a8n3.2704>