

21

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



© 2025; Los autores. Este es un artículo en acceso abierto, distribuido bajo los términos de una licencia Creative Commons que permite el uso, distribución y reproducción en cualquier medio siempre que la obra original sea correctamente citada.

ANÁLISIS DE TENDENCIAS

Y VARIABILIDAD DE LA PRECIPITACIÓN EN LAS CUENCAS SURESTE DEL ECUADOR

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

Dayana Norely Rodríguez-Granda¹

E-mail: drodriguezgranda@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-0104-1049>

Kleber Alexander Cruz-Lovato¹

E-mail: kacruz_est@utmachala.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2714-881X>

Ángel Eduardo Luna-Romero¹

E-mail: aluna@utmachala.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4311-9445>

¹ Universidad Técnica de Machala. Ecuador.

Cita sugerida (APA, séptima edición)

Rodríguez Granda, D.N., Cruz Lovato, K.A., & Luna Romero, A.E. (2025). Análisis de tendencias y variabilidad de la precipitación en las cuencas sureste del Ecuador. *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas*, 8(4), 195-204.

Fecha de presentación: 28/07/2025

Fecha de aceptación: 20/08/2025

Fecha de publicación: 01/10/25

RESUMEN

Este estudio analiza la tendencia y variabilidad de la precipitación en las cuencas de los ríos Jubones, Puyango y Zarumilla en el sureste del Ecuador, utilizando series de tiempo mensuales y anuales de 11 estaciones meteorológicas. Se aplicaron métodos estadísticos como regresión lineal, pruebas de Mann Kendall y CUSUM, así como técnicas geoestadísticas como Kriging para representar la distribución espacial de la precipitación. Como resultado se observó tendencia anual significativa en ocho estaciones meteorológicas (p -valor < 0.05). Una alta variabilidad espacial en las tendencias de precipitación a nivel anual dentro de las cuencas de los ríos Zarumilla, Puyango y Jubones. En cuanto a la variabilidad espacial el modelo de mejor ajuste fue el esférico con un CV de 40.76%, un alto desempeño predictivo con un Nash de 0.982 y RMSE de 30.85 mm, evidenciando heterogeneidad espacial. El perfil topográfico reveló una distribución irregular de la precipitación con picos en altitudes intermedias. La regresión lineal entre la altitud y la precipitación media anual no fue significativa. Esto resalta la influencia de otros factores geográficos y atmosféricos. Este estudio fortalece la gestión del agua y apoya la planificación agrícola ante el cambio climático.

Palabras clave:

Mann Kendall, CUSUM, geoestadística, kriging, precipitación.

ASBTRACT

This study analyzes the trend and variability of precipitation in the river basins of Jubones, Puyango, and Zarumilla in southeastern Ecuador, using monthly and annual time series from 11 meteorological stations. Statistical methods such as linear regression, Mann-Kendall tests, and CUSUM were applied, along with geostatistical techniques like Kriging to represent the spatial distribution of precipitation. As a result, a significant annual trend (p -value < 0.05) was observed in eight meteorological stations. High spatial variability in annual precipitation trends was detected within the Zarumilla, Puyango, and Jubones river basins. Regarding spatial variability, the best-fitting model was the spherical one, with a coefficient of variation (CV) of 40.76%, high predictive performance (Nash = 0.982), and RMSE of 30.85 mm, highlighting spatial heterogeneity. The topographic profile revealed an irregular distribution of precipitation, with peaks at intermediate altitudes. The linear regression between altitude and mean annual precipitation was not significant, underscoring the influence of other geographic and atmospheric factors. This study strengthens water resource management and supports agricultural planning in the face of climate change.

Keywords:

Mann-Kendall, CUSUM, geostatistics, kriging, precipitation.

INTRODUCCIÓN

El Ecuador cuenta con una alta variabilidad climática, específicamente en el sureste ecuatoriano por su relieve topográfico los cambios del clima son más evidentes y los patrones en variables como precipitación expresan una variación tanto temporal como espacial. La variable meteorológica más importante e interviniente en aspecto temporal como espacial en el clima es la lluvia (Calahorrano et al., 2017). En la región litoral está definido un periodo lluvioso que comprende entre los meses de diciembre a mayo. Año a año el comportamiento pluviométrico es incierto, algunos con eventos extremos como intensas lluvias y otros con sequías y la región por ser altamente productiva en el ámbito agrícola e hidroeléctrico se ve afectada de manera importante. La problemática nace de la falta de análisis de precisión de los datos climáticos que permitan realizar una gestión eficiente en el manejo del agua y la creación de actividades que se adapten al cambio climático.

El análisis de tendencias y variabilidad espacio temporal de la precipitación es primordial para comprender el comportamiento climático y sus efectos sobre los recursos hídricos, la gestión del riesgo en zonas de mayor vulnerabilidad y la agricultura. Según Villegas et al. (2021) el método más sencillo para comprender el comportamiento del clima en una región es en términos estadísticos como medias anuales y estacionales de variables como temperatura y precipitación. En los últimos años se han realizado estudios analíticos sobre la variabilidad del cambio climático enfocándose de forma objetiva en las tendencias, estacionalidad y estacionalidad para determinar la existencia de patrones y cambios estructurales en las series de tiempo (Campos-Aranda, 2019). Los cuales son vitales para identificar la existencia de diferencias en la variación de las lluvias en periodos específicos (Paliz et al., 2021).

Actualmente, la importancia por comprender los motivos de la variabilidad climática es creciente debido a la concientización social, puesto que dichos cambios climáticos conllevan afectaciones a nivel económico en plantaciones agrícolas productivas, un claro ejemplo es la provincia de El Oro, agrícolamente productiva con más de 45.000 hectáreas de banano, para las cuales el río Jubones representa una fuente vital para el suministro de agua ya que atraviesa zonas claves donde alimenta canales de riego provinciales que abastecen los predios bananeros. Alrededor de 22.000 hectáreas de banano se ven afectadas por las sequías recurrentes en la región. Es por ello que el análisis temporal de variables climáticas es vital para contrarrestar los efectos del cambio climático (López et al., 2021).

Los cambios estructurales que surgen en los patrones de precipitación representan un reto importante en el uso del agua, sobre todo en territorios cuya economía se sustenta en la agricultura. Investigaciones recientes detallan la importancia de realizar un análisis a detalle de las series

históricas de precipitación para estimar eventos climáticos críticos y diseñar estrategias adecuadas de manejo hídrico (Pérez-Ortiz et al., 2022). Análisis estadísticos como la prueba de Mann-Kendall y el test CUSUM en asociación con técnicas geoestadísticas como el método de Kriging, ha demostrado ser muy eficaz para evaluar patrones espaciales y tendencias en datos de precipitación (Márquez et al., 2022). La relación entre precipitación y variables geográficas ha sido objeto de estudio en diversas investigaciones. Por ejemplo, Quishpe-Vásquez et al. (2024) analizaron la variabilidad estacional del caudal en Ecuador y encontraron que la influencia de la temperatura del mar en el Pacífico tropical afecta a los patrones de precipitación, especialmente en zonas con topografía compleja.

Las lluvias intensas presentan la potencialidad de generar deslaves de causas, derrumbes de terrenos inestables e inundaciones que afectan de forma directa la agricultura, este evento es conocido como el Fenómeno Niño, para el cual Montilla-Pacheco et al. (2024) recomiendan desarrollar proyectos de prevención y respuesta que intervengan en la construcción de infraestructuras contra desbordamientos, prácticas agrícolas y capacitación de riesgo y prevención de este fenómeno. Así mismo, Jiménez et al. (2024) corroboran que un análisis eficiente de la distribución temporal y espacial de las lluvias crear modelos estadísticos para una correcta gestión de riesgos y recursos hídricos.

Este estudio tiene como objetivo analizar las tendencias y la variabilidad de la precipitación en las cuencas del sureste ecuatoriano, específicamente en las cuencas del río Jubones, Puyango y Zarumilla mediante el uso de series temporales mensuales y anuales. Para ello, se emplean técnicas estadísticas como regresión lineal, la prueba de Mann-Kendall, test de CUSUM y técnicas geoestadísticas, junto con herramientas gráficas que permitan determinar la existencia de cambios estadísticamente significativos, estacionales y comportamientos extremos. Los resultados serán un aporte vital para la planificación hídrica y poder enfrentar con mejores bases al cambio climático que golpea a esta región importante del país.

MATERIALES Y METODOS

El área de estudio corresponde a las cuencas de los ríos Jubones, Puyango y Zarumilla, con once estaciones meteorológicas representativas de la zona y de gran importancia en el ámbito climático. La cuenca del río Jubones esta localizada en las provincias de Loja, Azuay y El Oro y rodea un territorio aproximado de 4353 . La cuenca del río Puyango es internacional puesto que comprende 3477 en Ecuador y 1273 al Perú, cubriendo territorio en las provincias de Loja y El Oro. Así mismo, la cuenca del río Zarumilla es binacional compartiendo territorio con Perú, alcanza un área de 890.56 y su clima varía entre semi árido y desértico. La importancia de este análisis en la

zona de estudio es vital en aspectos como la conservación de recursos naturales, actividades agrícolas, energía hidroeléctrica entre las más importantes, puesto que comprender el comportamiento de la precipitación en un periodo de tiempo permite realizar proyectos con objetivos de uso eficiente del recurso agua. En la Figura 1 se puede observar la distribución de cada cuenca con su respectivo río y estaciones.

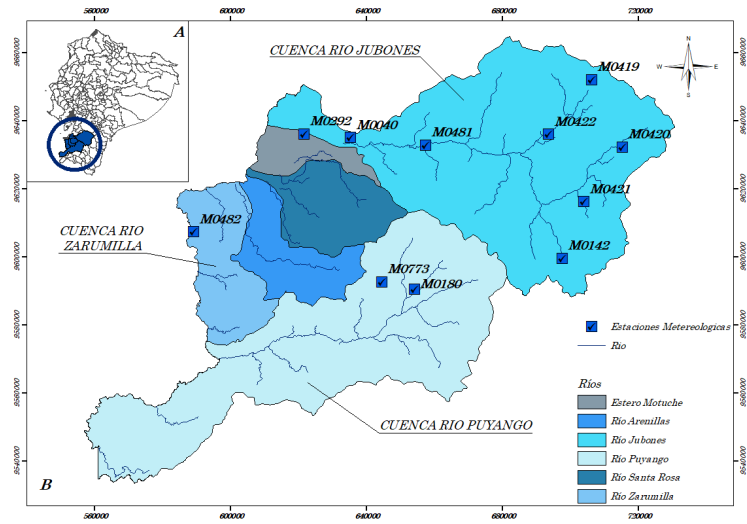


Figura 1. Ubicación del área de estudio A) Mapa de ubicación de las Cuencas de estudio en el Mapa del Ecuador. B) Cuencas de los ríos Jubones, Puyango y Zarumilla con sus respectivas estaciones metereológicas.

Los datos de precipitación a nivel mensual fueron obtenidos del sitio web del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador (INAMHI, <https://datosabierto.gob.ec/dataset>), seleccionando un total de 11 estaciones meteorológicas (Tabla 1) ubicadas en las cuencas de los ríos Jubones, Puyango y Zarumilla que cumplieron con la condición de no presentar datos faltantes superiores al 30%. La serie temporal se registra a escala mensual y abarca un período promedio de 32 años, en un intervalo de 1984 hasta 2016. Lo cual supera al periodo recomendado por la Organización Meteorológica Mundial que es de 30 años.

Tabla 1. Estaciones meteorológicas seleccionadas de las Cuencas de los ríos Jubones, Puyango, Zarumilla, serie 1984-2016.

Código	Estación Meteorológica	Altitud (msnm)	Latitud	Longitud
M0040	Pasaje	40	-3.321	-79.768
M0142	Saraguro	2525	-3.612	-79.232
M0180	Zaruma	1100	-3.697	-79.611
M0292	Granja Santa Inés (UTM)	5	-3.291	-79.915
M0419	Girón	2130	-3.163	-79.148
M0420	Nabón INAMHI	2750	-3.339	-79.066
M0421	Onna	2372	-3.464	-79.154
M0422	Hcda. Sta. Lucia-Camino Rir-cay	1310	-2.804	-79.257
M0481	Ushcurrumi	290	-3.321	-79.583
M0482	Chacras	60	-3.548	-80.197
M0773	Piñas	1126	-3.676	-79.702

La precipitación se distribuye en mayor concentración en los meses de enero, febrero, marzo y abril considerándose como la época lluviosa, sin embargo, la temporada de estiaje se produce en los meses de junio, julio, agosto y septiembre en el periodo 1984-2016, como se observa en la Figura 2.

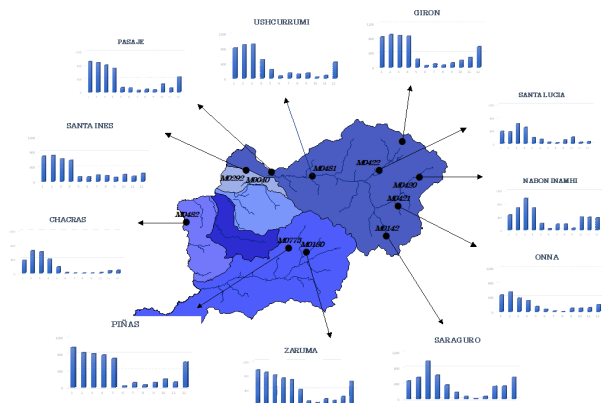


Figura 2. Precipitación media mensual para el periodo 1984-2016 (mm mes^{-1}) de las once estaciones meteorológicas estudiadas en escala 0-1200 mm.

Análisis exploratorio de datos

Los datos de precipitación de las once estaciones meteorológicas se sometieron a un filtro de calidad para identificar la presencia o ausencia de valores atípicos, este proceso se realizó por medio de la función *tsoutliers* en el software RStudio (Figura 3) la cual usa un rango de significancia fundamentado en la desviación estándar de los residuos del modelo ARIMA, para así comprender de mejor forma los patrones y características de los datos. Además, corrige los valores atípicos por medio de la transformación box cox.

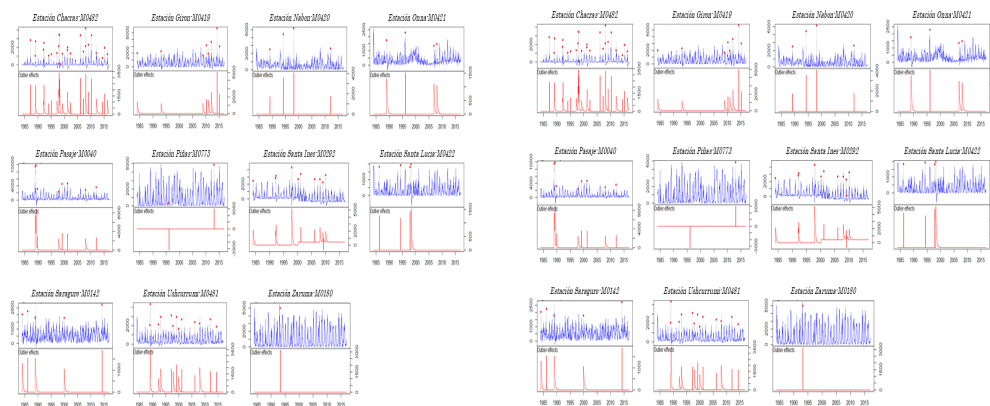


Figura 3. Tratamiento y efecto de los valores atípicos en las once estaciones meteorológicas estudiadas.

Tratamiento de datos faltantes

Existen distintas metodologías para el llenado de datos faltantes de precipitación, en el presente estudio se empleó el método de mínimos cuadrados recursivos por medio del filtro de Kalman (Solera-Ramírez, 2003). La estimación es eficiente puesto que el método relaciona todos los datos observados y el comportamiento del evento para ejecutar una valoración en la cual el error es reducido estadísticamente, así mismo, este filtrado es de tipo predictivo-correctivo que utiliza técnicas recurrentes para perfeccionar el valor estimado en la serie estocástica (Nieto Melgarejo, 2007). Las ecuaciones del algoritmo recursivo se basan en predicción y corrección, como se detalla a continuación:

Las Fórmulas 1 y 2 representan el pronóstico de la estimación del evento y la covarianza puesto que la matriz A asocia el evento en el instante previo ($t-1$) con el evento en el instante actual (t). Q describe la covarianza del ruido aleatorio que interviene en el proceso del evento que se desea estimar.

$$X_t^* = AX_{t-1}^* (F1)$$

$$P_t^* = AP_{t-1}A^T + Q (F2)$$

En cuanto a las fórmulas 3, 4 y 5 representan la fase de corrección de la predicción del evento. La ganancia de Kalman, , es la minimización de la covarianza del error de la estimación del evento.

$$K_t = P_t^* H^T (HP_t^* H^T + R)^{-1} \text{ (F3)}$$

$$\hat{x}_t = \hat{x}_t^* + K_t (Z_t - H\hat{x}_t^*) \text{ (F4)}$$

$$P_t = (I - K_t H) P_t^* \text{ (F5)}$$

En la fórmula 4 mediremos el proceso para determinar y obtener una nueva estimación del evento que incorpora la nueva observación, seguido de una nueva estimación de la covarianza del error por medio de la fórmula 5.

El proceso es repetido a partir de cada actualización tanto del evento como del tiempo y la covarianza del error, para así corregir de forma eficiente y obtener la estimación con el menor error posible.

Homogeneidad y regionalización

Un análisis importante es el comportamiento del patrón de la precipitación para definir zonas con estaciones homogéneas por medio del vector regional (VR) (Arriola et al., 2022). De esta forma se determinó dos regiones que representan la homogeneidad entre estaciones meteorológicas en relación con la variable precipitación, se observó en la Figura 4 una posible relación entre la altitud y la precipitación puesto que la región A agrupo las estaciones ubicadas entre 5 - 290 msnm y la región B estaciones ubicadas a más de 1000 msnm.

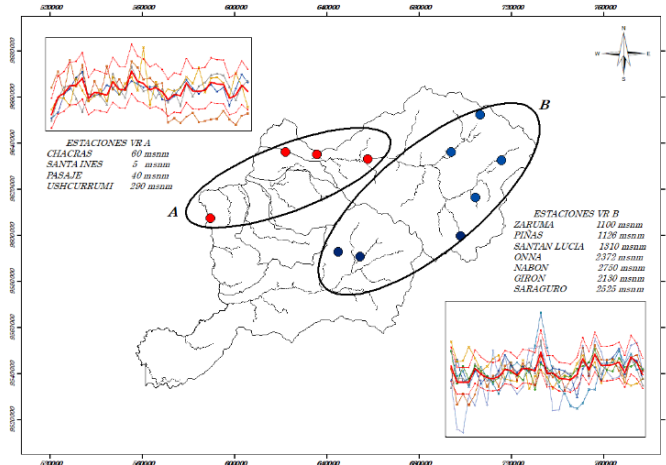


Figura 4. Zonas homogéneas identificadas por medio del Vector Regional

Las regiones A y B se identificaron en base a la desviación estándar de desvíos (DED) ya que se debe obtener valores menores a 0.02 y la correlación más cercana a 1. Este análisis se realizó por medio del software Hydracces, ya que nos brinda información muy completa y distribuida en archivos de Microsoft Excel.

Correlación entre altitud y precipitación

La precipitación es un evento climático de alta variabilidad según la ubicación y características de cada sitio de estudio (Chen et al., 2015). Esto se comprende puesto que a mayor altitud del terreno el aire húmedo asciende, se expande y enfría y al llegar a su punto de rocío forma lluvias generando una mayor cantidad de precipitación que en áreas más cercanas al mar. Según Matovelle et al. (2021), la correlación existente entre variables geográficas y climáticas permite la aplicación de herramientas estadísticas para estimar el nivel de relación en un área específica.

El método utilizado en este estudio fue el coeficiente de correlación de spearman puesto que es una prueba robusta y muy recomendada para datos climáticos.

Evaluación de tendencias

Las tendencias expresan los cambios que surgen las variables durante un periodo de tiempo, pueden ser de tipo creciente, decreciente o estable, esto permite evidenciar y comprender el comportamiento de las distintas variables climáticas a lo largo del tiempo (Méndez et al., 2008). Permitiendo realizar planificaciones en distintas áreas profesionales, especialmente en la agricultura, puesto que permite realizar una proyección hipotética del comportamiento del clima y planificar las actividades agrícolas como riego, fertilización, drenajes, entre otras.

Para determinar las tendencias en el presente estudio se hizo uso de la prueba estadística no paramétrica de Mann Kendall (EMK). Dicha prueba es muy útil en el análisis de datos climáticos ya que detecta tendencias monótonas, es robusta ante valores extremos y presenta un componente estacional (Márquez et al., 2022).

Se estableció dos hipótesis, una alternativa con 95% de nivel de confianza, que supone la presencia de una tendencia estadísticamente significativa y una hipótesis nula que plantea la ausencia de una tendencia en la serie. Los cambios estructurales "saltos" en la serie de tiempo se determinó mediante la prueba paramétrica test de Cusum. Las pruebas se realizaron en el software TREND, el cual cuenta con pruebas estadísticas para la determinación de tendencias y saltos en variables climatológicas (Pérez-Ortiz et al., 2022).

Variabilidad espacial de la precipitación

La variabilidad espacial de la precipitación en las cuencas del sureste se determinó por medio técnicas geostatísticas, se empleó el método de interpolación Kriging con dos modelos de ajuste, gaussiano y esférico, de los cuales se definió por medio de los coeficientes de Nash, determinación y error cuadrático medio el modelo de mejor interpolación. Para así, expresar de forma gráfica el comportamiento espacial de la precipitación en el área de estudio.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Como producto del análisis de tendencia por medio de las pruebas estadísticas de Mann Kendall, Regresión lineal y Cusum se observó resultados estadísticamente significativos a nivel mensual y anual, como se describe a continuación:

La Figura 5 expresa el análisis de tendencia anual de la precipitación en once estaciones meteorológicas distribuidas en las cuencas de los ríos Jubones, Puyango y Zarumilla. El análisis se basó en la prueba de Mann Kendall para identificar la dirección y significancia de la tendencia expresada mediante el coeficiente de Tau (barras) y se complementó con el análisis de CUSUM (línea punteada) para detectar cambios estructurales en la serie 1984 – 2016.

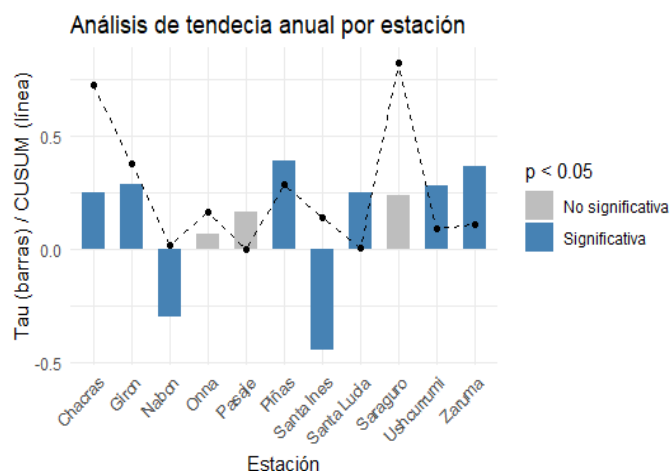


Figura 5. Análisis de tendencia anual de la precipitación de 11 estaciones meteorológicas de la cuenca de los ríos Jubones, Puyango y Zarumilla utilizando como métrica el valor de Tau de la prueba de Mann Kendall y el p-valor de CUSUM.

De las once estaciones de estudio, ocho presentan tendencia estadísticamente significativa (p -valor < 0.05). las estaciones Chacras, Piñas, Santa Lucía, Zaruma y Ushcurrumi expresaron tendencias positivas, es decir, un aumento anual de la precipitación con valores de Tau entre 0.2 y 0.5. Por otro lado, Granja Santa Inés y Nabón Inamhi presentan una tendencia negativa, por lo que asume una posible disminución anual de la precipitación.

El análisis de CUSUM presento cambios estructurales en tres estaciones, en Pasaje con un p -valor de 0.001 se observó un salto en el año 1989, en Nabón Inamhi en el año 2004 y en Santa Lucía con un p -valor de 0.004, sin embargo, el año no pudo ser identificado. Esto se relaciona a eventos climáticos extremos o condiciones locales en cada estación.

A nivel mensual se evaluaron 8 estaciones meteorológica pertenecientes a la cuenca del Río Jubones, se observó una clara tendencia decreciente significativa en la Granja

Santa Inés y Nabón Inamhi especialmente en el segundo semestre, Pasaje y Giron presentaron algunos meses con tendencia creciente significativa, sin embargo, la mayoría no fueron estadísticamente significativas. El resto de estaciones como son Onna, Santa Lucía, Saraguro y Ushcurrumi presentaron tendencias no significativas estadísticamente, comprendiendo una estabilidad mensual, como se observa en la Figura 6.

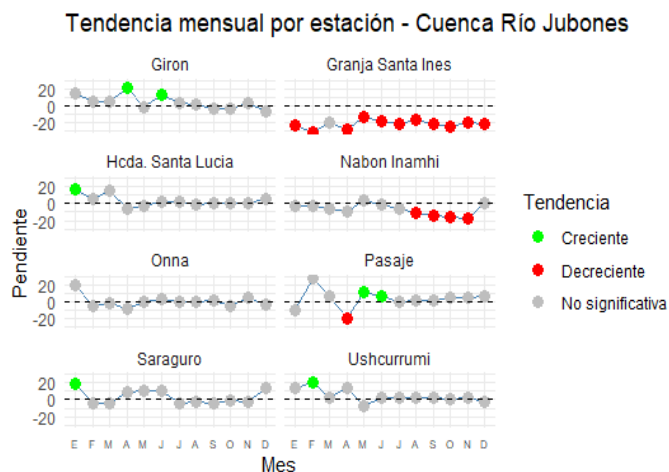


Figura 6. Tendencia mensual de la precipitación de 8 estaciones meteorológicas de la cuenca del Río Jubones, utilizando como métrica la pendiente de la regresión lineal y el p-valor de Mann Kendall.

En la cuenca del Río Puyango con las estaciones de Piñas y Zaruma se observó tendencias crecientes estadísticamente significativas, los primeros 6 meses se refleja una intensificación de las lluvias con tendencias crecientes lo cual puede indicar los patrones climáticos de la región como el comienzo del invierno con una temporada lluviosa, el segundo semestre se observó tendencias no significativas y más estables como se observa en la Figura 7.

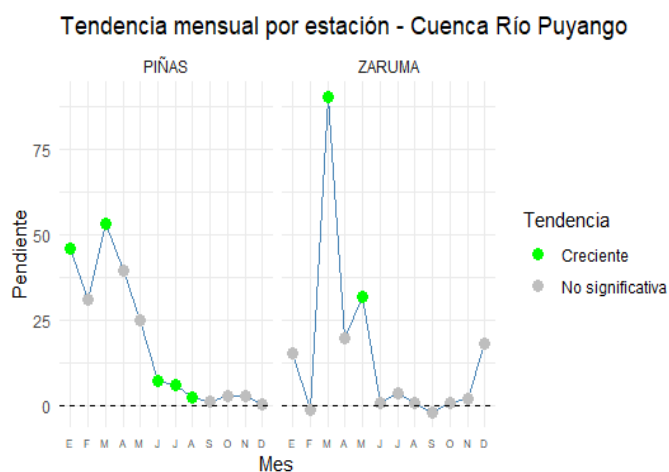


Figura 7. Tendencia mensual de la precipitación de 2 estaciones meteorológicas de la cuenca del Río Puyango, utilizando como métrica la pendiente de la regresión lineal y el p-valor de Mann Kendall.

En la estación Chacras de la cuenca del Río Zarumilla se observó una posible intensificación de las lluvias en el primer trimestre del año, específicamente en marzo el cual presentó una tendencia creciente significativa estadísticamente, lo que indica un incremento en las precipitaciones a lo largo del tiempo. Pasado el mes de abril no se observó tendencias significativas, asumiendo un patrón estable con una estacionalidad marcada como se observa en la Figura 8.

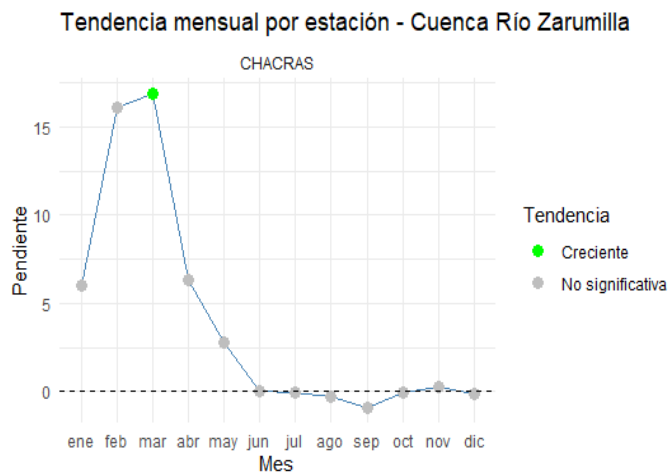


Figura 8. Tendencia mensual de la precipitación de la estación meteorológica de la cuenca del Río Zarumilla, utilizando como métrica la pendiente de la regresión lineal y el p-valor de Mann Kendall.

Las tres cuencas de estudio expresaron una coincidencia en el aumento de precipitaciones a comienzos del año, específicamente en los meses de febrero y marzo que representan la temporada invernal. Solo en la cuenca del Río Jubones, se observó indicios de disminución significativa de la precipitación especialmente en el segundo semestre del año en las estaciones de Nabón Inamhi y Granja Santa Inés, lo que podría reflejar una diferencia climática o de usos del suelo. En conjunto a nivel mensual las cuencas del sureste ecuatoriano expresaron una idea de estacionalidad marcada con posibles implicaciones que permitan eficientizar el manejo del recurso hídrico para mejoras en la planificación agrícola y recuperación de ecosistemas.

En cuanto a la variabilidad espacial de la precipitación se observó resultados importantes, el modelo geoestadístico ajustado presentó un coeficiente de variación espacial (CV) de 40.76% evidenciando una alta heterogeneidad en la distribución anual de la precipitación entre las estaciones. El semivariograma esférico ajustado mostró una estructura espacial representada por un nugget de 10000, un psill de 50000 y un rango de 80000 m, como muestra la Tabla 2.

Tabla 2. Resultados geoestadísticos del análisis de variabilidad espacial de 11 estaciones meteorológicas de estudio en las cuencas del río Jubones, Puyango y Zarumilla.

Indicador	Valor	Indicador	Valor
Coeficiente de Variación (%)	40.76	Modelo Semivariograma	Esférico
Psill (Varianza estructural)	50000	Nash	0.982
Nugget (ruido)	10000		NA
Rango (m)	80000	RMSE (mm)	30.85

La validación cruzada indicó un alto desempeño del modelo Kriging con un coeficiente de eficiencia de Nash de 0.982, lo cual sugiere una excelente capacidad predictiva. El error cuadrático medio (RMSE) fue de 30.85 mm, mientras que el coeficiente de determinación no pudo ser estimado, posiblemente por datos constantes o coincidencias perfectas en valores reales y predichos.

Mediante la distribución espacial de la precipitación se evidenció tres zonas diferenciadas (Figura 9A): en la cuenca del río Puyango la mayor cantidad de lluvia en las estaciones de Zaruma y Piñas con valores de 1087 mm y 908 mm respectivamente, valores intermedios de precipitación en la parte noreste de la cuenca Jubones y menores en la cuenca Zarumilla con 266 mm en la estación Chacras.

La Figura 9B, muestra el perfil topográfico de las estaciones meteorológicas ordenadas por su altitud, junto con las correspondientes precipitaciones medias anuales. Se observa una alta variabilidad de la precipitación en todas las elevaciones, con algunos picos aislados de la precipitación en altitudes medias, como en la estación Zaruma lo que

sugiere una posible interacción entre la exposición geográfica y patrones de circulación regional.

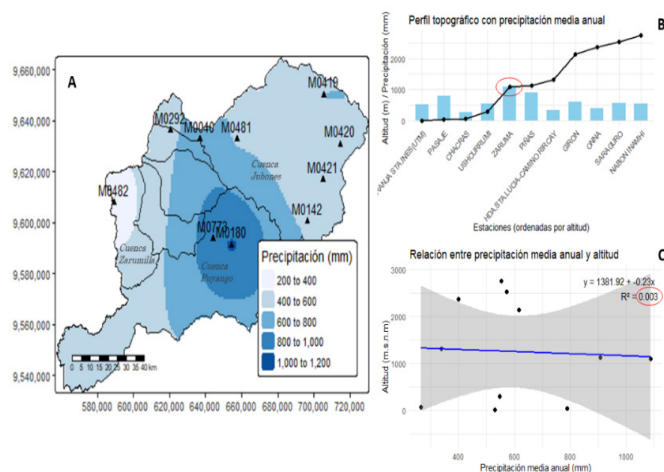


Figura 9. A) Distribución espacial de la precipitación media anual por el método de Kriging. B) Perfil topográfico con la ubicación de las estaciones y la precipitación media anual. C) Regresión lineal entre la precipitación media anual y la altitud en m.s.n.m.

La Figura 9C representa la regresión lineal entre altitud y precipitación media anual, el bajo coeficiente de determinación con un valor de 0.003 indica una relación lineal nula entre ambas variables. Estos resultados se asemejan al obtenido por Luna-Romero et al. (2018), el cual tampoco registro una relación única entre la precipitación media anual y la elevación.

Este comportamiento contrasta con estudios como los de Buytaert et al. (2006) en los Andes ecuatorianos, donde se reporta una fuerte relación positiva entre la precipitación y la altitud. Sin embargo, Vuille et al. (2000) señalan que en regiones costeras e interandinas factores como la orientación de las cuencas, las corrientes marinas y la vegetación pueden alterar significativamente la relación altitud y precipitación.

CONCLUSIONES

Los resultados reflejan una alta variabilidad espacial en las tendencias de precipitación a nivel anual dentro de las cuencas de los ríos Zarumilla, Puyango y Jubones. La presencia de tendencias significativas crecientes en varias estaciones podría estar asociadas a cambios climáticos regionales, mientras que las tendencias decrecientes observadas en zonas puntuales como las estaciones de Nabón Inamhi y Granja Santa Inés merecen atención por su posible impacto en la disponibilidad del recurso hídrico.

Los resultados negativos entre la relación precipitación y elevación sugieren que la altitud por sí sola no es un predictor fiable de la precipitación anual en las cuencas de los ríos Zarumilla, Puyango y Jubones, por lo que se recomienda tomar en cuenta otros factores geoambientales en los análisis de distribución espacial de la lluvia. Estos

hallazgos refuerzan la importancia de enfoques integrales en la planificación hídrica y adaptación climática, especialmente en zonas agrícolas estratégicas del país.

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>
- Buytaert, W., Celleri, R., Willems, P., De Bièvre, B., & Wyseure, G. (2006). Spatial and temporal rainfall variability in mountainous areas: A case study from the south Ecuadorian Andes. *Journal of Hydrology*, 329(3–4), 413–421. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2006.02.031>
- Calahorrano, J., Manzano, M., Gualli, D., Silva, F., Audeolo, M., & Tingo, J. (2017). Análisis de tendencia en la precipitación anual (1964–2011) en la cuenca del Pastaza-Ecuador. *Aqua-LAC*, 9(2), 73–84. <https://doi.org/10.29104/phi-aqualac/2017-v9-2-06>
- 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>
- Chen, Y., Liu, H., An, J., Görsdorf, U., & Berger, F. H. (2015). A field experiment on the small-scale variability of rainfall based on a network of micro rain radars and rain gauges. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 54(1), 243–255. <https://doi.org/10.1175/JAMC-D-13-0210.1>
- 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>
- López, N., Márquez, 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. E., Ramírez Morales, I., Sánchez Mendieta, C., Conde Solano, J., Agurto Rodríguez, L., & Villaseñor Ortiz, D. (2018). Distribución espacio-temporal de la precipitación en la cuenca del río Jubones, Ecuador: 1975–2013. *Scientia Agropecuaria*, 9(1), 63–70. <http://www.scielo.org.pe/pdf/agro/v9n1/a07v9n1.pdf>
- Márquez, 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://www.redalyc.org/journal/496/49672695012/html/>

- Matovelle, C., Andreo, B., & Mudarra, M. (2021). Análisis de la influencia de la altitud en los eventos de máxima precipitación en una cuenca del Pacífico: tendencias y variabilidad. *Información Tecnológica*, 32(6), 3–12. <https://www.scielo.cl/pdf/infotec/v32n6/0718-0764-info-tec-32-06-3.pdf>
- Méndez González, J., Návar Cháidez, J. D. J., & González Ontiveros, V. (2008). Análisis de tendencias de precipitación (1920–2004) en México. *Investigaciones Geográficas*, (65), 38–55. <https://www.scielo.org.mx/pdf/igeo/n65/n65a4.pdf>
- Montilla-Pacheco, A., Mora-Pisco, C. I., Durán-Vasco, M. E., & Pastrán-Calles, F. R. (2024). Contribución al estudio de la geografía climática del Ecuador continental. *Ciencia UNEMI*, 17(44), 237–248. <https://ojs.unemi.edu.ec/index.php/cienciaunemi/article/view/1758/1778>
- Nieto Melgarejo, H. (2007). Comparación de modelos hidrológicos precipitación-esorrentía determinísticos conceptuales con y sin uso de modelo estocástico [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Ingeniería].
- Paliz, C., Perugachi, N., Martínez, J., Moreno, M., Yaucán, C., & Palaguachi, R. (2021). Análisis estadístico de datos de las precipitaciones usando métodos robustos: caso Riobamba. *Revista de la Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleos y Ambiental*, 42(2), 52–63. <https://doi.org/10.29166/revfig.v12i2.3515>
- 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*, 89(221), 168–177. <http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v89n221/2346-2183-dyna-89-221-168.pdf>
- Quishpe-Vásquez, C., Gámiz-Fortis, S. R., García-Valdecasas-Ojeda, M., Castro-Díez, Y., & Esteban-Parra, M. J. (2024). Tropical Pacific SST influence on seasonal streamflow variability in Ecuador. arXiv. <https://arxiv.org/abs/2401.09799>
- Solera-Ramírez, Á. (2003). Filtro de Kalman. Banco Central de Costa Rica. <https://repositorioinvestigaciones.bccr.fi.cr/server/api/core/bitstreams/ffe1154c-ee5e-4133-8fc0-96858a3c7ba5/content>
- 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-Agua naval inland basin based on a geographical approach. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 8(3), 1–10. <https://doi.org/10.19136/era.a8n3.2704>
- Vuille, M., Bradley, R. S., & Keimig, F. (2000). Interannual climate variability in the Central Andes and its relation to tropical Pacific and Atlantic forcing. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 105(D10), 12447–12460. <https://doi.org/10.1029/2000JD900134>