

VARIABILIDAD, TENDENCIAS Y PROYECCIONES CLIMÁTICAS DE PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURAS EXTREMAS EN CHONE, MANABÍ (2000–2029)

CLIMATE VARIABILITY, TRENDS, AND CLIMATE PROJECTIONS OF PRECIPITATION AND EXTREME TEMPERATURES IN CHONE, MANABÍ (2000–2029)

Bryan Alejandro Cruz Macias *

¹ Universidad Estatal del Sur de Manabí; Ecuador, Jipijapa;
<https://orcid.org/0000-0003-34626928>; bryan.cruz@unesum.edu.ec

Juan Manuel Guerrero Calero²

² Universidad Estatal del Sur de Manabí; Ecuador, Jipijapa;
<https://orcid.org/0000-0002-1356-0475>; juan.guerrero@unesum.edu.ec

Miguel Ramón Moran González³

³ Universidad Estatal del Sur de Manabí; Ecuador, Jipijapa;
<https://orcid.org/0000-0002-6072-3599>; miguel.moran@unesum.edu.ec

luisa Anabel palacios Lopez⁴

⁴ Universidad Estatal del Sur de Manabí; Ecuador, Jipijapa;
<https://orcid.org/0000-0002-9257-7557>; luisa.palacios@unesum.edu.ec

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

Resumen

Este estudio analizó la variabilidad, estacionalidad y tendencias de la precipitación y de las temperaturas máximas y mínimas en Chone, provincia de Manabí, Ecuador, durante el período 2000–2024, con el propósito de aportar evidencia científica sólida para la gestión ambiental y territorial en una región altamente vulnerable al cambio climático. Se utilizaron datos mensuales derivados de fuentes satelitales y procesados mediante métodos estadísticos avanzados en RStudio. La metodología incluyó estadística descriptiva, la prueba de tendencia estacional de Mann–Kendall, la descomposición STL de las series, el análisis de funciones de autocorrelación y autocorrelación parcial, así como la estimación de modelos ARIMA y SARIMA. La validación de los modelos se realizó con indicadores de ajuste como RMSE, MAE y MAPE, y posteriormente se desarrollaron proyecciones climáticas para el período 2025–2029. Los resultados evidenciaron una marcada variabilidad interanual en la precipitación, con mínimos registrados en 2005 y máximos extremos en 2012 y 2023, reflejando la fuerte influencia de la dinámica estacional y de los eventos ENSO. La temperatura máxima se mantuvo relativamente estable en un rango entre 32 y 35 °C, aunque con picos cálidos en la última década que incrementan el riesgo de olas de calor. En contraste, la temperatura mínima mostró un incremento sostenido en los últimos años, confirmando un proceso de calentamiento nocturno en el contexto del cambio climático. La prueba de Mann–Kendall estacional confirmó tendencias crecientes estadísticamente significativas en la precipitación y en la temperatura mínima, mientras que la temperatura máxima no presentó una tendencia definida. Los modelos ARIMA estacionales lograron capturar adecuadamente la estructura temporal de las series, reproduciendo la estacionalidad anual y generando pronósticos que sugieren estabilidad térmica y persistencia del régimen pluviométrico, aunque con alta incertidumbre en los valores extremos. En conclusión, estos hallazgos constituyen una base sólida para anticipar escenarios futuros y representan una



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)

E-mail: revista.alcance@unesum.edu.ec

herramienta práctica para la planificación territorial, la gestión del riesgo hídrico y el diseño de estrategias de adaptación climática en la región costera ecuatoriana.

Palabras clave: Variabilidad climática; Precipitación extrema; Temperatura máxima y mínima; Prueba de Mann–Kendall estacional; Modelos ARIMA; Ecuador; ENSO; Cambio climático; Gestión costera; Adaptación al riesgo.

Abstract

This study analyzed the variability, seasonality, and trends of precipitation and maximum and minimum temperatures in Chone, Manabí Province, Ecuador, during the period 2000–2024, aiming to provide robust scientific evidence for environmental and territorial management in a highly climate-vulnerable region. Monthly data derived from satellite sources were processed using advanced statistical methods in RStudio. The methodology included descriptive statistics, the Seasonal Mann–Kendall trend test, STL decomposition of the series, autocorrelation and partial autocorrelation functions, as well as the estimation of ARIMA and SARIMA models. Model validation was conducted with performance indicators such as RMSE, MAE, and MAPE, followed by climate projections for the period 2025–2029. Results revealed strong interannual variability in precipitation, with minimum values recorded in 2005 and extreme maxima in 2012 and 2023, reflecting the strong influence of seasonal dynamics and ENSO events. Maximum temperature averages remained relatively stable within the 32–35 °C range, although notable warm peaks were identified in the last decade, suggesting increased risk of heat waves. In contrast, minimum temperature exhibited a sustained increase in recent years, pointing to a relevant nocturnal warming process under climate change. The Seasonal Mann–Kendall test confirmed statistically significant upward trends in precipitation and minimum temperature, while maximum temperature did not present a defined trend. Seasonal ARIMA models successfully captured the temporal structure of the series, reproducing the annual seasonality and producing forecasts that indicate thermal stability and persistence of the rainfall regime, albeit with high uncertainty in extreme values. In conclusion, these findings provide a solid basis for anticipating future climate scenarios and represent a practical tool for territorial planning, water resource risk management, and the design of climate adaptation strategies in the Ecuadorian coastal region.

Keywords: Climate variability; Precipitation extremes; Maximum and minimum temperature; Seasonal Mann–Kendall test; ARIMA models; Ecuador; ENSO; Climate change; Coastal management; Risk adaptation.

Recibido: 18/10/2025

Aceptado: 26/11/2025

Publicado 15/12/2025

Introducción (Time New Roman, negritas, 14 puntos)

El cambio climático se ha consolidado como uno de los problemas más trascendentales del siglo XXI, con repercusiones directas en variables climáticas críticas como la temperatura y la precipitación. Estos cambios no se manifiestan de forma uniforme a nivel global, sino que presentan características particulares en función de las dinámicas regionales y locales. Por ello, la evaluación detallada de series climáticas en zonas específicas constituye un insumo esencial para comprender la magnitud de las alteraciones y anticipar los riesgos asociados. El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) ha advertido que incluso un



incremento de 1,5 °C en la temperatura media global puede desencadenar impactos severos en los sistemas productivos y en la seguridad de las comunidades (IPCC, 2021; IPCC, 2023).

La costa ecuatoriana, y en particular la provincia de Manabí, se encuentra entre las regiones más vulnerables frente a la variabilidad climática. Investigaciones previas han señalado que la dinámica pluviométrica de la región está fuertemente condicionada por la oscilación interanual del fenómeno El Niño–Oscilación del Sur (ENOS), que modula tanto la intensidad como la distribución estacional de las lluvias (Morán-Tejeda et al., 2016). Durante episodios de El Niño, las precipitaciones tienden a intensificarse, lo que incrementa la probabilidad de inundaciones y desbordamientos de ríos, mientras que en fases de La Niña se agudizan los déficits hídricos, afectando la agricultura y el abastecimiento de agua (Thielen, 2023).

El cantón Chone, ubicado en la zona centro-norte de Manabí, constituye un territorio de estudio prioritario por la recurrencia de eventos extremos y su alta exposición a riesgos hidrometeorológicos. El sistema hidrográfico dominado por el río Chone ha experimentado históricamente inundaciones de gran magnitud, que han ocasionado pérdidas en infraestructura, viviendas y sistemas productivos (Paredes et al., 2020). Al mismo tiempo, la economía local depende de manera crítica de la agricultura y la ganadería, sectores estrechamente vinculados a la disponibilidad y estacionalidad de las lluvias. Estas características convierten a Chone en un laboratorio natural para analizar cómo la estacionalidad y las tendencias climáticas inciden en el bienestar de la población.

El análisis de series temporales se presenta como una herramienta idónea para evaluar estos cambios, ya que permite identificar tendencias de largo plazo y patrones de estacionalidad en variables clave como la precipitación y la temperatura máxima y mínima. Estudios similares en otras regiones sensibles, como el valle de Cachemira en Asia, han demostrado que la aplicación de modelos ARIMA y SARIMA puede revelar incrementos significativos en la temperatura y reducciones progresivas en las lluvias, con implicaciones directas para la seguridad hídrica y la agricultura (Hussain et al., 2025). En Ecuador, investigaciones recientes destacan que la identificación de estos patrones no solo contribuye al conocimiento científico, sino que también ofrece un soporte técnico para la planificación territorial y la gestión de riesgos (Córdova et al., 2021).

la presente investigación busca responder a la pregunta central de si en Chone existen estacionalidad y tendencias significativas en la precipitación y en las temperaturas extremas. Comprender estos patrones permitirá diferenciar entre fluctuaciones naturales de corto plazo y cambios estructurales vinculados al cambio climático. Asimismo, los resultados proporcionarán una base sólida para la formulación de estrategias de adaptación que fortalezcan la resiliencia comunitaria y promuevan un desarrollo sostenible en el cantón.

Analizar el comportamiento de la precipitación y de las temperaturas extremas en Chone no solo representa un ejercicio científico de alto valor, sino también una necesidad para la gestión sostenible del territorio. Este estudio pretende aportar conocimiento que permita anticipar riesgos, mejorar la planificación y fortalecer la resiliencia frente al cambio climático. Los resultados aspiran a servir como referencia tanto para la comunidad científica como para los responsables de la gestión local y regional, contribuyendo así a la construcción de un futuro más seguro y sostenible para el cantón y sus habitantes.



Materiales y métodos

El presente estudio se desarrolló a partir del análisis de series temporales climáticas correspondientes al cantón Chone, provincia de Manabí, Ecuador. Se emplearon datos mensuales de precipitación (mm), temperatura máxima (°C) y temperatura mínima (°C) registrados entre enero de 2000 y diciembre de 2024. La información se obtuvo de la plataforma satelital NASA POWER (Prediction Of Worldwide Energy Resources), reconocida por su fiabilidad y uso extendido en investigaciones climáticas y energéticas a escala regional y global. Esta base fue seleccionada debido a la necesidad de disponer de series homogéneas, continuas y consistentes, considerando que los registros meteorológicos locales presentan discontinuidades que limitan su aplicación para estudios de largo plazo.

El procesamiento y análisis de los datos se efectuó en el entorno de programación RStudio (versión 4.x), que permitió integrar diferentes técnicas estadísticas y de modelado de series temporales. En una primera etapa se realizó un análisis descriptivo, mediante el cálculo de medidas de tendencia central y dispersión, con el propósito de caracterizar la variabilidad de cada variable climática a lo largo del período de estudio. Posteriormente, se evaluó la presencia de tendencias de largo plazo a través de la prueba no paramétrica de Mann-Kendall, ampliamente utilizada en estudios hidrometeorológicos, mientras que la estacionariedad de las series se verificó mediante la prueba de Dickey-Fuller Aumentada (ADF), la cual resultó fundamental para determinar la necesidad de transformaciones previas al modelado.

La caracterización de los componentes de las series se complementó con la aplicación del método de descomposición STL (Seasonal-Trend decomposition using Loess), que permitió separar de manera clara la tendencia, la estacionalidad y los residuos. Este procedimiento resultó esencial para comprender la estructura interna de los datos y visualizar los patrones de variabilidad climática. En la fase de modelamiento, se ajustaron modelos autorregresivos integrados de medias móviles (ARIMA) y su versión estacional (SARIMA), seleccionando los parámetros óptimos con base en los criterios de información de Akaike (AIC) y bayesiano (BIC). La validación de los modelos se realizó a partir de métricas de error como la raíz cuadrática media (RMSE) y el error absoluto medio (MAE), lo que permitió garantizar la confiabilidad de las proyecciones.

Finalmente, se llevaron a cabo análisis de autocorrelación y autocorrelación parcial (ACF y PACF), los cuales facilitaron la identificación de rezagos significativos en las series y contribuyeron a la definición precisa de los parámetros autorregresivos y de medias móviles. La metodología aplicada se sustentó exclusivamente en el uso de herramientas estadísticas de acceso abierto, priorizando la reproducibilidad y transparencia del proceso investigativo. Con este enfoque, se buscó no solo describir el comportamiento histórico de la precipitación y las temperaturas en Chone, sino también generar proyecciones robustas que aporten a la comprensión de los patrones climáticos y a la planificación ambiental de la región.

Resultados y discusión

Variabilidad interanual de la precipitación y temperaturas extremas en Chone (2000–2024)

El análisis de los estadísticos descriptivos anuales evidencia que el régimen climático de Chone entre 2000 y 2024 estuvo marcado por una elevada variabilidad interanual en la precipitación y por incrementos progresivos en las temperaturas extremas. La precipitación presentó oscilaciones pronunciadas, con años de excesos asociados a fases cálidas de El Niño y periodos de déficit vinculados a La Niña, reflejando la fuerte



influencia del ENOS en la dinámica pluviométrica regional. En cuanto a la temperatura máxima, los valores se mantuvieron relativamente estables en promedio, pero con picos crecientes hacia los últimos años que sugieren una intensificación de los eventos cálidos. La temperatura mínima mostró un aumento sostenido, especialmente en la última década, lo que confirma la presencia de un calentamiento nocturno progresivo. En conjunto, estos resultados refuerzan la evidencia de que el clima de Chone está siendo modulado tanto por la variabilidad natural como por los efectos del cambio climático a largo plazo

Tabla 1. Estadísticos descriptivos anuales de precipitación y temperatura máxima y mínima en Chone (2000–2024).

Año	Precipitación media (mm)	Precipitación máxima (mm)	Tmax media (°C)	Tmax máxima (°C)	Tmin media (°C)	Tmin máxima (°C)
2000	75.12	184.61	33.32	36.53	19.80	20.76
2001	98.20	323.90	32.87	35.21	20.03	21.11
2002	122.42	355.56	33.09	35.92	20.92	22.14
2003	79.38	209.62	33.92	35.52	20.88	22.04
2004	61.17	175.65	34.32	36.14	20.75	21.71
2005	31.99	107.50	35.37	36.42	20.59	22.17
2006	68.37	271.60	34.31	36.12	20.77	21.75
2007	32.45	69.74	35.21	36.29	20.70	22.75
2008	116.01	379.31	32.79	35.92	20.56	21.25
2009	56.56	219.70	34.98	36.97	21.00	21.98
2010	115.02	306.71	33.18	35.64	20.41	22.39
2011	84.96	329.33	33.37	35.63	20.12	20.96
2012	166.23	493.00	32.79	36.00	20.31	21.32
2013	114.78	375.29	33.34	36.24	20.45	21.70
2014	71.55	229.92	34.74	36.67	21.28	22.14
2015	130.16	265.10	33.79	37.39	21.56	22.74
2016	114.65	336.32	33.67	36.55	21.12	22.83
2017	151.67	443.68	32.94	35.81	20.61	22.15
2018	98.67	311.53	33.72	36.10	20.78	21.78
2019	128.58	343.34	33.05	36.33	20.91	21.96
2020	100.18	252.87	33.43	35.80	20.62	22.26
2021	146.08	329.92	32.41	35.56	20.31	21.98
2022	103.13	320.56	32.56	35.58	20.00	21.47
2023	163.67	691.41	33.40	37.28	21.66	22.30
2024	97.95	302.22	34.19	37.31	21.05	22.34

Nota: valores expresados como promedios y máximos anuales derivados de registros mensuales. Tmax = temperatura máxima; Tmin = temperatura mínima.

Los resultados muestran que la precipitación en Chone presentó una alta variabilidad interanual durante el período 2000–2024. Los valores medios oscilaron entre un mínimo de 31,99 mm en 2005 y un máximo de 166,23 mm en 2012. Los años 2012 y 2023 se destacaron como los más extremos, alcanzando máximos de 493,0 mm y 691,41 mm respectivamente, lo cual evidencia la influencia de episodios intensos de El Niño. En contraste, años como 2005 y 2007 registraron precipitaciones muy bajas, lo que concuerda con condiciones



asociadas a La Niña o a sequías regionales. Esta oscilación irregular refleja la fuerte dependencia del régimen pluvial a la dinámica del ENOS.

En relación con la temperatura máxima, los valores medios anuales se mantuvieron en un rango relativamente estrecho (32–35 °C), aunque los extremos han mostrado un incremento progresivo en la última década. Picos de hasta 37,39 °C en 2015 y 37,31 °C en 2024 indican un aumento en la intensidad de los eventos cálidos, lo que sugiere la intensificación de olas de calor y un mayor riesgo para la agricultura y la salud humana.

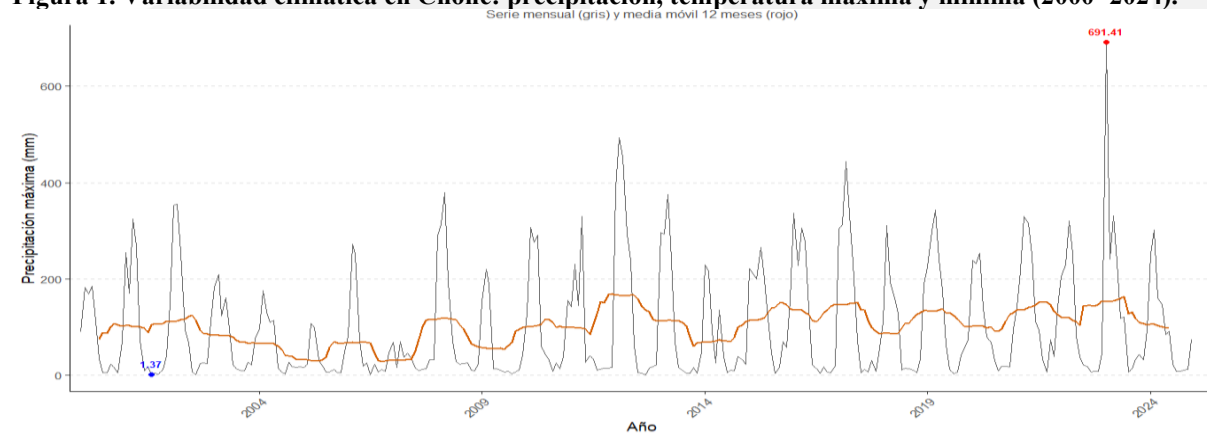
Por su parte, la temperatura mínima evidenció un comportamiento más estable, con medias entre 19,8 °C y 21,6 °C. No obstante, se detectó un incremento paulatino hacia los años más recientes, alcanzando 21,66 °C en 2023, lo que refleja un calentamiento nocturno relevante. Este patrón es consistente con los reportes internacionales que señalan un aumento más acelerado de las temperaturas mínimas en comparación con las máximas en regiones tropicales.

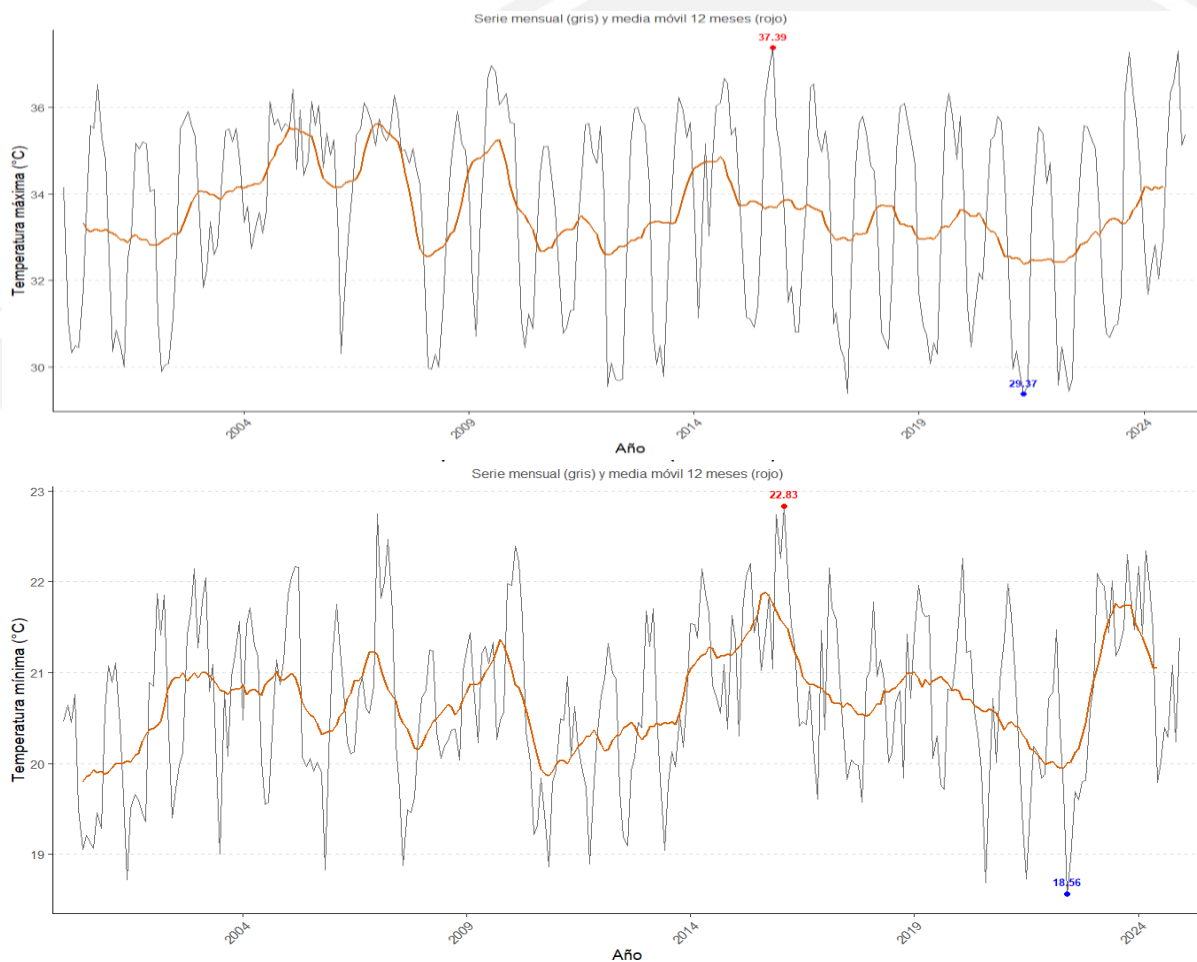
En conjunto, los resultados sugieren que mientras la precipitación se caracteriza por su alta variabilidad y dependencia de fenómenos interanuales, las temperaturas máximas y mínimas muestran señales claras de incremento progresivo, lo que constituye evidencia de la influencia del cambio climático en el cantón Chone.

Variabilidad y tendencias de la precipitación y temperaturas extremas en Chone (2000–2024).

El análisis de las series temporales de precipitación, temperatura máxima y mínima en Chone durante el periodo 2000–2024 permitió identificar patrones de variabilidad intra e interanual, así como la ocurrencia de anomalías climáticas asociadas a eventos extremos. Las gráficas siguientes muestran la dinámica de cada variable, evidenciando la influencia de fenómenos como El Niño y La Niña sobre la región, además de posibles tendencias consistentes con escenarios de cambio climático en zonas tropicales.

Figura 1. Variabilidad climática en Chone: precipitación, temperatura máxima y mínima (2000–2024).





El análisis de la serie temporal 2000–2024 revela una marcada variabilidad interanual e intra-anual en los patrones climáticos de Chone, caracterizados por oscilaciones abruptas tanto en precipitación como en temperaturas extremas. La precipitación mensual mostró picos excepcionales, como en 2012 (493 mm) y 2023 (691,41 mm), asociados probablemente a fases cálidas del fenómeno El Niño, en las que el incremento de la temperatura superficial del mar en el Pacífico oriental intensifica la convección y favorece lluvias torrenciales en la costa ecuatoriana. En contraste, años como 2005 (107,5 mm) y 2007 (69,74 mm) presentaron déficits hídricos significativos, consistentes con episodios fríos de La Niña, que suelen generar condiciones más secas en la región. Estos resultados confirman el fuerte control que ejerce la variabilidad ENSO sobre la dinámica pluviométrica local.

Las temperaturas máximas anuales también reflejaron la influencia de los forzamientos oceánicos y atmosféricos. Los valores medios oscilaron entre 32 °C y 35 °C, con picos de calor en 2005 y 2015, que superaron los 37 °C, en probable correspondencia con eventos de El Niño. En contraste, años como 2021 (32,41 °C) registraron valores más bajos, vinculados a la moderación térmica propia de La Niña. La tendencia general apunta a un aumento progresivo en los extremos cálidos durante las últimas décadas, lo cual



incrementa la probabilidad de olas de calor y representa un riesgo emergente para la salud humana, la productividad agrícola y la infraestructura local.

En cuanto a las temperaturas mínimas, se evidenció un incremento gradual hacia los años más recientes. Mientras a inicios del periodo los valores medios se situaban en torno a 19,8 °C (2000), en 2023 se alcanzaron máximos de 21,66 °C, lo que refleja un calentamiento nocturno sostenido. Este comportamiento es coherente con la literatura internacional, que señala un aumento más acelerado en las temperaturas mínimas respecto a las máximas en regiones tropicales. Tal dinámica puede tener repercusiones en la fisiología de cultivos, la biodiversidad y la demanda energética, dado que noches más cálidas reducen los mecanismos de recuperación térmica en ecosistemas y comunidades humanas.

En conjunto, la evidencia confirma que el clima de Chone no responde únicamente a la tendencia global de calentamiento, sino que se encuentra fuertemente modulado por la recurrencia irregular del ENSO, con impactos diferenciales en lluvias y temperaturas. Estos hallazgos subrayan la necesidad de integrar indicadores oceánicos como el Índice Oceánico del Niño (ONI) con registros locales para establecer correlaciones más precisas entre fases ENSO y eventos climáticos extremos. Asimismo, resaltan la urgencia de fortalecer los sistemas de monitoreo y las estrategias de adaptación, considerando que la combinación del cambio climático global y la variabilidad interanual intensifica la exposición de la región a riesgos hidrometeorológicos y socioeconómicos.

Tendencias climáticas en la precipitación y temperaturas extremas en Chone (2000–2024) según el test de Mann–Kendall estacional

El análisis de tendencias mediante el test de Mann–Kendall estacional permitió identificar patrones diferenciados en las variables climáticas de Chone durante el período 2000–2024. Los resultados muestran que la precipitación mensual presentó una tendencia creciente estadísticamente significativa, lo que evidencia un aumento progresivo en los volúmenes de lluvia más allá de la variabilidad estacional. En contraste, la temperatura máxima mensual no presentó una tendencia significativa, lo que indica que los valores extremos diurnos se han mantenido relativamente estables a lo largo del tiempo. Por su parte, la temperatura mínima mensual exhibió una tendencia ascendente significativa, lo que confirma un proceso de calentamiento nocturno sostenido en la región.

Tabla 2. Resultados del test de Mann–Kendall estacional aplicado a la precipitación y temperaturas en Chone (2000–2024).

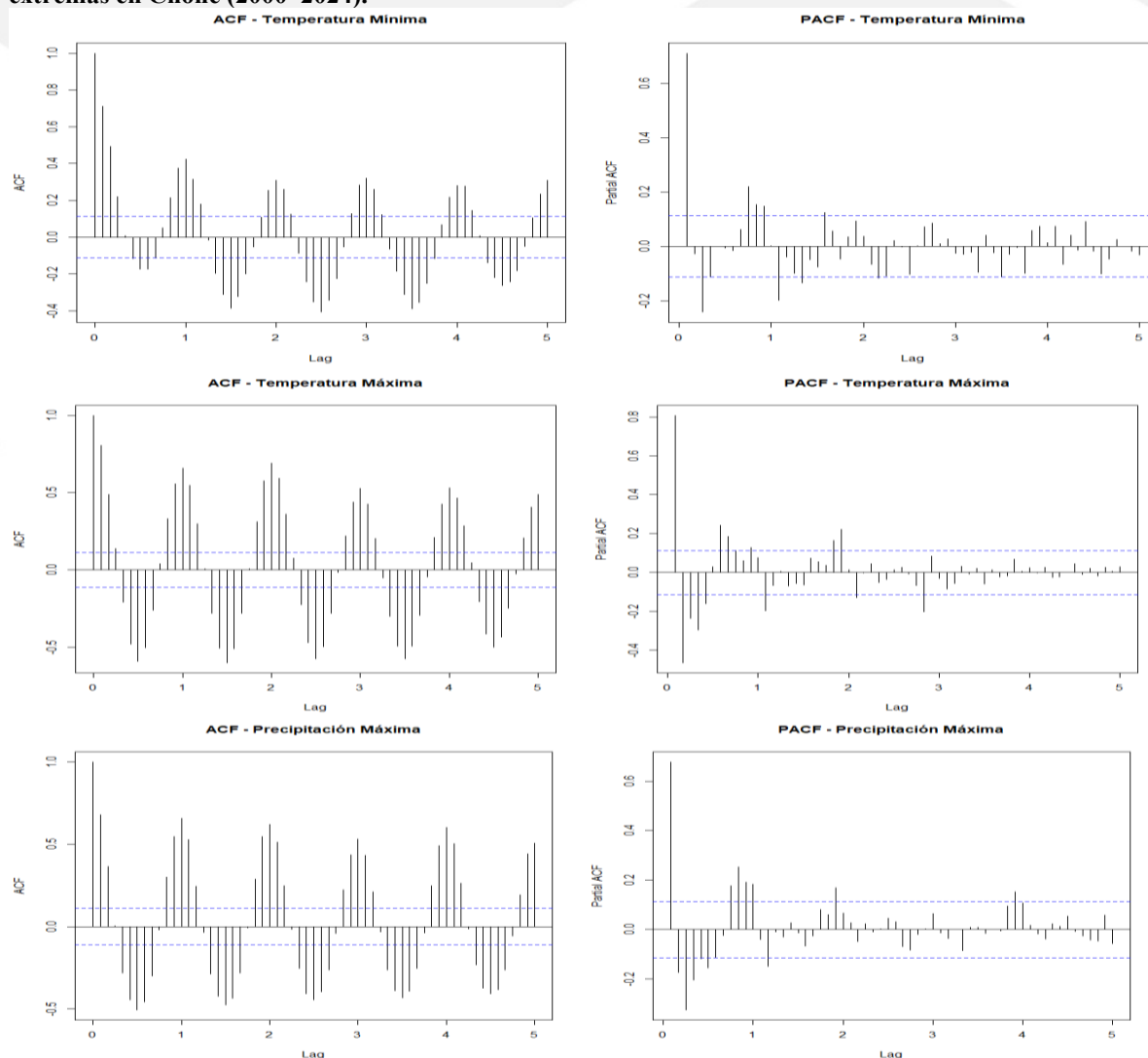
Variable	Tau	p-valor	Tendencia	Significancia estadística
Precipitación mensual	0,198	$1,53 \times 10^{-6}$	Creciente	Sí ($p < 0,05$)
Temperatura máxima mensual	-0,0412	0,318	Ligeramente decreciente	No ($p > 0,05$)
Temperatura mínima mensual	0,138	0,00084	Creciente	Sí ($p < 0,05$)

Nota: valores obtenidos mediante el test de Mann–Kendall estacional aplicado a series mensuales. Un p-valor < 0,05 indica tendencia estadísticamente significativa.



Los resultados muestran que la precipitación mensual en Chone presentó una tendencia creciente estadísticamente significativa, lo que sugiere un aumento gradual en los volúmenes de lluvia durante el período 2000–2024. La temperatura máxima mensual no evidenció una tendencia significativa, lo que indica estabilidad relativa en los valores extremos diurnos. En cambio, la temperatura mínima mensual presentó un incremento significativo, reflejando un calentamiento nocturno sostenido en la región. Este patrón, caracterizado por mayor precipitación y aumento de las temperaturas mínimas, concuerda con hallazgos en otras zonas tropicales donde el cambio climático se manifiesta en la intensificación de lluvias extremas y en el aumento de las temperaturas nocturnas.

Figura 2. Funciones de autocorrelación (ACF) y autocorrelación parcial (PACF) de la precipitación y temperaturas extremas en Chone (2000–2024).



El análisis de las funciones de autocorrelación (ACF) y autocorrelación parcial (PACF) permitió identificar patrones de persistencia temporal y estacionalidad en las series de precipitación y temperaturas en Chone durante el período 2000–2024.

En la precipitación mensual máxima, la ACF mostró correlaciones significativas en rezagos múltiples de 12 meses, confirmando una estacionalidad anual marcada. La PACF presentó un pico relevante en el primer rezago, lo que indica que la precipitación de un mes depende fuertemente de la del mes anterior, mientras que los rezagos posteriores tuvieron menor influencia. Este comportamiento es característico de procesos con un componente autorregresivo de bajo orden, combinado con un patrón estacional fuerte, lo que respalda el ajuste de un modelo SARIMA con periodo 12.

Para la temperatura máxima mensual, la ACF evidenció autocorrelaciones positivas en los primeros rezagos que disminuyen gradualmente con el tiempo, reflejando persistencia temporal y cierta estacionalidad anual. La PACF mostró un único pico significativo en el rezago 1, lo que sugiere un proceso autorregresivo de primer orden (AR(1)) acompañado de un componente estacional, en concordancia con los ciclos climáticos típicos de la región costera de Manabí.

En cuanto a la temperatura mínima mensual, la ACF reflejó una fuerte dependencia entre los meses consecutivos, con repuntes en los rezagos de 12 meses que confirman la estacionalidad anual observada en la descomposición STL. La PACF, al igual que en la temperatura máxima, presentó un pico significativo en el primer rezago y valores cercanos a cero en los siguientes, lo que sugiere un comportamiento dominado por procesos autorregresivos simples combinados con estacionalidad anual.

En conjunto, estos resultados demuestran que tanto la precipitación como las temperaturas extremas de Chone responden a patrones de persistencia temporal y estacionalidad anual, lo que justifica el uso de modelos SARIMA para capturar adecuadamente la dinámica climática de la región.

Modelos de predicción climática mediante ARIMA estacional en Chone (2000–2029)

El ajuste de la precipitación mensual con un modelo ARIMA(2,0,0)(0,1,1)[12] reveló una tendencia estacional bien capturada, con coeficientes significativos y errores de ajuste moderados (RMSE = 62,75 mm). Aunque el MAPE resultó elevado, esto responde a la presencia de meses con lluvias muy bajas, lo que confirma la alta variabilidad pluviométrica de la región.

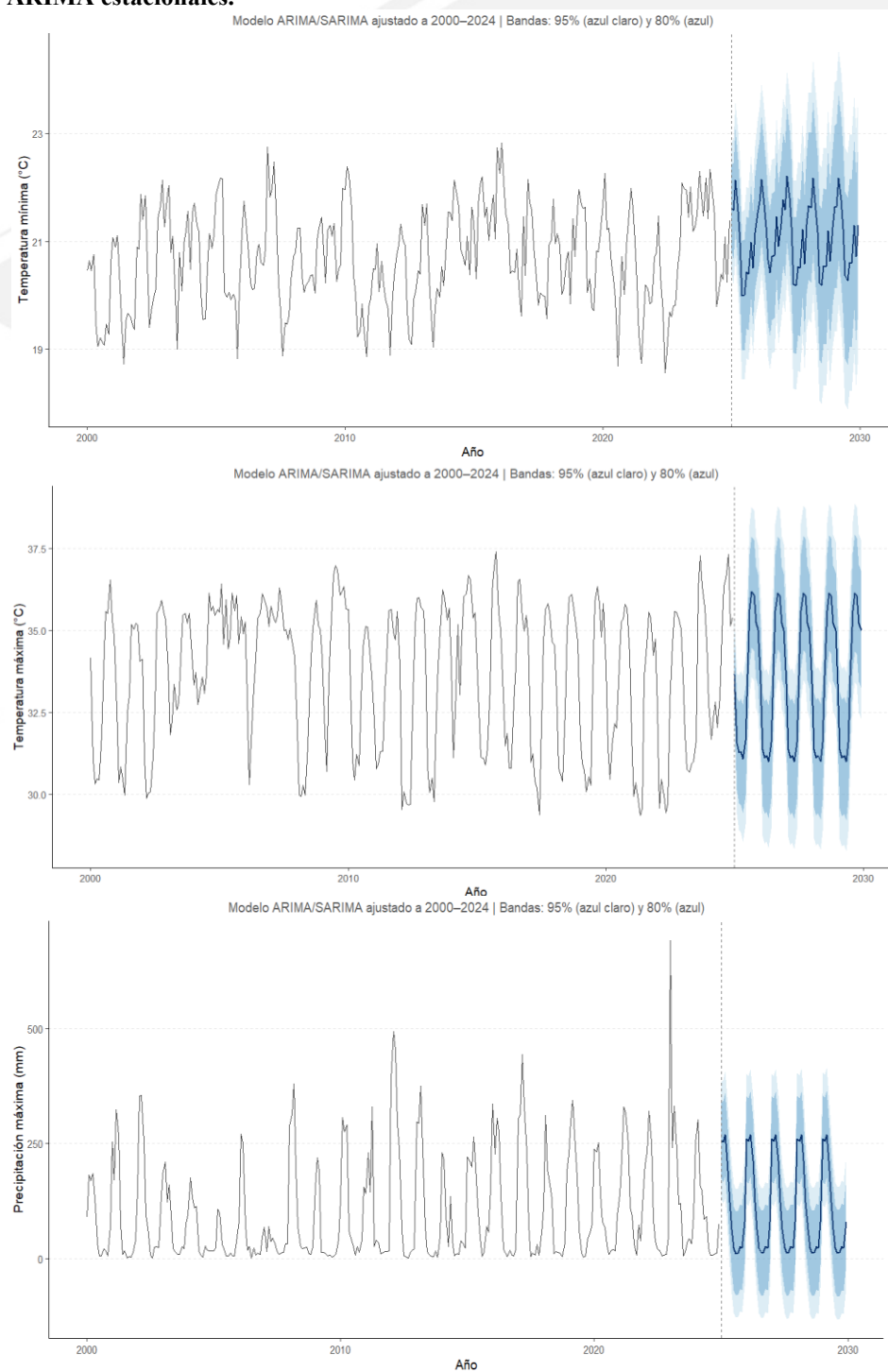
En el caso de la temperatura máxima mensual, el modelo ARIMA(1,0,0)(0,1,1)[12] logró representar con precisión la dinámica y la estacionalidad de la serie, con un error de estimación bajo (RMSE \approx 0,86 °C). El pronóstico hasta 2029 sugiere estabilidad térmica en torno a los 33 °C, sin cambios significativos en el corto plazo.

la temperatura mínima mensual ajustada con un ARIMA(1,0,1)(2,1,0)[12] mostró un desempeño sólido, con errores bajos (RMSE = 0,60 °C) y proyecciones consistentes. El modelo indica que las temperaturas mínimas permanecerán relativamente estables en torno a los 21 °C en los próximos cinco años, aunque con una incertidumbre creciente hacia el final del horizonte de predicción.

los tres modelos confirmaron la fuerte estacionalidad de las series climáticas en Chone y ofrecen un marco confiable para la proyección a mediano plazo, destacando la estabilidad térmica y la alta variabilidad de las lluvias como factores críticos para la planificación regional.



Figura 3. Pronósticos de la precipitación y temperaturas extremas en Chone (2000–2029) obtenidos mediante modelos ARIMA estacionales.



El conjunto de graficas de modelos ARIMA estacionales aplicados a la precipitación y a las temperaturas extremas en Chone para el período 2025–2029 evidencia patrones consistentes con la dinámica climática histórica de la región. En la precipitación mensual, se proyectan valores promedio cercanos a 123 mm/mes, con máximos concentrados entre marzo y abril y mínimos prolongados entre julio y agosto, lo que confirma la persistencia de un régimen pluviométrico estacional fuertemente controlado por la Zona de Convergencia Intertropical y modulaciones ENSO. Sin embargo, los amplios intervalos de confianza, especialmente en los límites del 95 %, reflejan la elevada incertidumbre asociada a la predicción de eventos extremos.

En cuanto a la temperatura máxima mensual, las proyecciones muestran una alta estabilidad, con promedios en torno a los 33,6 °C y variaciones poco significativas entre años, lo que indica un régimen térmico relativamente constante. La estacionalidad persiste, con incrementos entre julio y octubre, aunque sin evidencias de tendencias marcadas al alza en el horizonte de cinco años.

la temperatura mínima mensual evidencia mayor sensibilidad estacional, con valores promedios entre 21,2 y 21,4 °C y ligeras alzas en marzo, abril, mayo y diciembre. Estos resultados sugieren un patrón nocturno más variable, lo cual es consistente con la literatura que señala un aumento más marcado en las temperaturas mínimas en regiones tropicales.

las proyecciones resaltan la estabilidad térmica en el corto plazo y la alta incertidumbre en las lluvias, lo que implica la necesidad de reforzar los sistemas de monitoreo y de actualización periódica de los modelos para la gestión de riesgos hídricos y agrícolas en Manabí.

La alta variabilidad interanual y los picos extremos de precipitación en Chone durante 2000-2024, especialmente en años como 2012 y 2023, son consistentes con proyecciones de tendencias crecientes en lluvias intensas en la costa y Amazonía ecuatorianas. Valdivieso-García et al. (2025) encontraron aumentos de hasta 32 mm/año en precipitaciones extremas bajo el escenario RCP 8.5, junto con más días de lluvia intensa en el futuro. Esto confirma la fuerte influencia de fenómenos ENSO y cambio climático sobre los patrones pluviométricos locales.

la ocurrencia del evento extremo “El Niño costero 2023” produjo lluvias devastadoras en la costa peruana y ecuatoriana, reforzando la conexión entre variabilidad oceánica y extremos pluviométricos. Asimismo, Thielen (2023) documentó que la mayoría de los extremos de precipitación asociados a El Niño ocurren en la primera mitad del segundo año del evento, coincidiendo con la temporada lluviosa.

El incremento sostenido en la temperatura mínima mensual revela un calentamiento nocturno notable, en línea con estudios regionales. Portalanza (2024) observó una reducción del rango térmico diario (DTR) en la costa y Amazonía ecuatorianas, implicando el predominio del aumento en temperaturas mínimas sobre las máximas.

Montenegro et al. (2022) calcularon índices de riesgo térmico, como HRW (High Risk Warming) y HRD (High Risk Days), y proyectaron aumentos significativos hasta 2070, especialmente en zonas costeras —lo que sugiere un futuro más caluroso, especialmente en la noche.

El uso de modelos SARIMA es apropiado dada la fuerte estacionalidad en precipitación y temperatura en Chone, como muestran las autocorrelaciones anuales. Este enfoque metodológico es coherente con estudios en cuencas del sur de Ecuador, donde se han integrado modelos de cambio climático (CMIP6) usando Budyko para estimar déficits de agua y impactos futuros sobre disponibilidad hídrica.



Sin embargo, los amplios intervalos de confianza (IC 95 %) reflejan la gran incertidumbre en las proyecciones, especialmente para precipitación extrema. Estudios globales han mostrado que el ciclo hidrológico se está volviendo más inestable, con lluvias y sequías más fuertes, lo que complica la producción de pronósticos precisos a mediano y largo plazo

La variabilidad y extremos en precipitación afectan directamente la generación hidroeléctrica y el suministro energético. Según un informe periodístico reciente, las sequías redujeron drásticamente los niveles de embalses en Ecuador, desencadenando cortes de energía puesto que el país depende en un 80 % de la hidroeléctrica.

Duque et al. (2025) documentaron que, aunque la precipitación histórica ha aumentado en ciertas cuencas del sur del país, el balance hídrico se ve amenazado por una mayor evapotranspiración, lo que reducirá la capacidad de generación hidroeléctrica y alterará la seguridad hídrica.

La variabilidad del clima en Ecuador está claramente vinculada a teleconexiones oceánicas. Una publicación reciente muestra que los flujos de agua en cuencas ecuatorianas responden de forma diferenciada a distintos tipos de El Niño, destacando su impacto en la disponibilidad de agua durante la temporada húmeda.

Modelos climáticos globales proyectan un aumento de anomalías de precipitación durante fuertes eventos de El Niño bajo un clima más cálido, lo cual augura mayores desafíos en términos de extremos hídrico-entrenamiento. En términos regionales, Veneros et al. (2025) destacaron aumentos en temperaturas medias y en la temperatura del trimestre más seco en el Perú, lo que sugiere patrones comparables en la región amazónica y costera del Ecuador

Conclusiones

El análisis descriptivo y de tendencia confirmó que la precipitación mensual en Chone exhibe una marcada variabilidad intra e interanual, con valores medios anuales entre 31,99 mm (2005) y 166,23 mm (2012). Los máximos mensuales superaron los 600 mm en 2023, evidenciando la ocurrencia de eventos extremos de carácter convectivo e influenciados por fases cálidas del ENSO.

El test de Mann-Kendall estacional identificó una tendencia creciente significativa en la precipitación ($\tau = 0,198$; $p < 0,001$) y en la temperatura mínima ($\tau = 0,138$; $p < 0,001$), mientras que la temperatura máxima no mostró una tendencia estadísticamente robusta ($\tau = -0,0412$; $p = 0,318$). Estos resultados sugieren un proceso de intensificación del calentamiento nocturno y mayor recurrencia de lluvias intensas, en coherencia con proyecciones de cambio climático en zonas tropicales.

Los análisis ACF y PACF evidenciaron patrones de persistencia temporal y estacionalidad con rezagos de 12 meses en todas las variables. Esto respalda la selección de modelos SARIMA con componentes autorregresivos de bajo orden y diferenciación estacional, como herramientas adecuadas para capturar la dinámica climática de la región.

El modelo ARIMA(2,0,0)(0,1,1)[12] para precipitación presentó un desempeño aceptable (RMSE = 62,75 mm; MAE = 36,94 mm), aunque con MAPE elevado (81,52 %), atribuible a la alta intermitencia de meses con valores cercanos a cero. En contraste, los modelos ARIMA para temperaturas (Tmax y Tmin) mostraron



alta precisión predictiva ($RMSE < 1\text{ }^{\circ}\text{C}$; $MAPE < 3\%$), confirmando la estabilidad térmica proyectada para el período 2025–2029.

Las proyecciones ARIMA estacionales estimaron que, entre 2025 y 2029, la precipitación mensual mantendrá un promedio de $\sim 123\text{ mm}$, con picos concentrados en marzo–abril y mínimos en julio–agosto, mientras que las temperaturas extremas se mantendrán estables en torno a $33,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ (T_{max}) y $21,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ (T_{min}). No obstante, la amplitud de los intervalos de confianza ($IC_{95\%}$: -131 mm a 413 mm para precipitación) evidencia la alta incertidumbre asociada a los eventos extremos y la necesidad de actualización periódica de los modelos.

Los resultados aportan evidencia cuantitativa para la gestión integrada de riesgos climáticos en Manabí, destacando la necesidad de: (i) fortalecer los sistemas de alerta temprana frente a lluvias extremas, (ii) adaptar prácticas agrícolas a un escenario de mayor calentamiento nocturno, y (iii) considerar la variabilidad ENSO en los planes de ordenamiento territorial y seguridad hídrica.

Referencias

Córdova, M., Silva, Y., & Mora, D. (2021). Tendencias climáticas y su influencia en la disponibilidad hídrica en cuencas de la costa ecuatoriana. *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, 8(2), 45–56.

Duque, L.-F., O'Donnell, G., Cordero, J., Jaramillo, J., & O'Connell, E. (2025). Analysis of the potential impacts of climate change on the mean annual water balance and precipitation deficits for a catchment in southern Ecuador. *Hydrology*, 12(7), 177. <https://doi.org/10.3390/hydrology12070177>

Hussain, K., Farooq, F. J., Salim, M. N., & Farooq, S. U. (2025). Time-series analysis for forecasting climate parameters of Kashmir Valley using ARIMA and Seasonal ARIMA model. *Jordan Journal of Earth and Environmental Sciences*, 16(1), 83–95.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2021). *Climate change 2021: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2023). *Synthesis report of the IPCC Sixth Assessment Report*. Cambridge University Press.

Montenegro, M., Campozano, L., Urdiales-Flores, D., Maisincho, L., Serrano-Vincenti, S., & Borbor-Cordova, M. J. (2022). Assessment of the impact of higher temperatures due to climate change on the mortality risk indexes in Ecuador until 2070. *Frontiers in Earth Science*, 9, 794602. <https://doi.org/10.3389/feart.2021.794602>

Morán-Tejeda, E., Bazo, J., López-Moreno, J. I., & Aguilar, E. (2016). Climate trends and variability in Ecuador (1966–2011). *International Journal of Climatology*, 36(11), 3839–3855. <https://doi.org/10.1002/joc.4597>



Paredes, J., Rodríguez, A., & Zambrano, C. (2020). Impactos hidrometeorológicos y vulnerabilidad territorial en la cuenca del río Chone, Ecuador. *Revista Geográfica Venezolana*, 61(1), 112–129.

Peng, Q., et al. (2024). The 2023 extreme coastal El Niño: Atmospheric and air-sea interactions. *Journal of Climate Phenomena*.

Portalanza, D., Torres, M., Rosso, F., Zuluaga, C. F., Durigon, A., Horgan, F. G., ... & Ferraz, S. (2024). Climate variability and change in Ecuador: Dynamic downscaling of regional projections with RegCM4 and HadGEM2-ES for informed adaptation strategies. *Frontiers in Climate*, 6, 1344868. <https://doi.org/10.3389/fclim.2024.1344868>

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>

Thielen, D. R., Ramoni-Perazzi, P., Zamora-Ledezma, E., Puche, M. L., Márquez, M., Quintero, J. I., ... & Arizapana-Almonacid, M. A. (2023). Effect of extreme El Niño events on the precipitation of Ecuador. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 23(4), 1507–1527. <https://doi.org/10.5194/nhess-23-1507-2023>

Trascasa-Castro, P., Ruprich-Robert, Y., & Maycock, A. C. (2025). Future climate response to observed strong El Niño analogues. *npj Climate and Atmospheric Science*, 8(1), 116. <https://doi.org/10.1038/s41612-025-01003-1>

Valdivieso-García, K., Vázquez-Patiño, A., Saritama, H., Contreras, J., Avilés, A., & García, F. (2024). Influence of climate change on precipitation extremes in Ecuador. *Climatic Change*, 177(11), 165. <https://doi.org/10.1007/s10584-024-03820-4>

Veneros, J., Hansen, A. J., Jantz, P., Roberts, D., Noguera-Urbano, E., & García, L. (2025). Analysis of changes in temperature and precipitation in South American countries and ecoregions: Comparison between reference conditions and three representative concentration pathways for 2050. *Heliyon*, 11(4). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2025.e24939>

World Meteorological Organization (WMO). (2024). *WMO report highlights growing shortfalls in global water resources*. <https://public.wmo.int>

Wired. (2024). Ecuador is literally powerless in the face of drought. *Wired Magazine*. <https://www.wired.com/story/ecuador-energy-crisis-water-shortage-hydro>

