



Artículo original / Original article

## Análisis de tendencias a largo plazo de precipitación y temperatura del aire en la ciudad de Puerto Maldonado, Amazonía peruana

### Long-term trends analysis of precipitation and air temperature in the city of Puerto Maldonado, Peruvian Amazon

Andrea Susans Aucahuasi-Almidon <sup>1\*</sup>; Eric Segura-Ttito <sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Mayor de San Marcos, Lima, Perú

<sup>2</sup>Universidad de Huánuco, Huánuco, Perú

Recibido: 14/04/2022

Aceptado: 29/06/2022

Publicado: 25/07/2022

\*Autor de correspondencia: [andrea.aucahuasi@unmsm.edu.pe](mailto:andrea.aucahuasi@unmsm.edu.pe)

**Resumen:** El objetivo del estudio fue evaluar el comportamiento y las tendencias de temperatura y precipitación en la ciudad de Puerto Maldonado. Se utilizaron series de temperatura media (Tmean), temperatura máxima (Tmax), temperatura mínima (Tmin) y precipitación (1970-2017) de la estación meteorológica Puerto Maldonado. Las tendencias climatológicas utilizadas se analizaron mediante análisis de regresión lineal. Encontramos un incremento significativo ( $P\text{-value} < 0,05$ ) en 2,40°C (Tmean), en 2,34°C (Tmax) y no significativas para las mínimas y la precipitación observada no presentó incremento durante el periodo 1970-2017. En la temperatura media, máxima y mínima anual y mensual se encontró una tendencia positiva ( $P\text{-value} < 0,05$ ). Sin embargo, nuestros resultados no muestran tendencias significativas en la precipitación anual, aunque sí se encontró una reducción para las precipitaciones de octubre.

**Palabras clave:** cambio climático; tendencia de precipitación y temperatura; variabilidad climática

**Abstract:** The objective of the study was to evaluate the behavior and trends of temperature and precipitation in the city of Puerto Maldonado. Series of mean temperature (Tmean), maximum temperature (Tmax), minimum temperature (Tmin) and precipitation (1970-2017) from the Puerto Maldonado weather station were used. Climatological trends using were analyzed by linear regression analysis. We found a significant increase ( $P\text{-value} < 0.05$ ) in 2.40°C (Tmean), in 2.34°C (Tmax) and not significant for the minimums and the observed precipitation did not present increase during the period 1970-2017. A positive trend ( $P\text{-value} < 0.05$ ) was found for mean, maximum and minimum annual and monthly temperature. However, our results show no significant trends in rainfall, although a reduction was found for the October rainfall.

**Keywords:** climate change; climate variability; rainfall and temperature trend

## 1. Introducción

La Amazonia es la mayor selva tropical del mundo, intercambia agua, energía y carbono con la atmósfera, se considera un componente dinámico esencial del sistema climático y es reconocida como una de las principales fuentes de evapotranspiración (Sierra et al., 2022). En relación al cambio climático global, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) señalan que los cambios del clima estarían relacionados a las actividades antropogénicas; esto se ve reflejado en cambios bruscos de temperatura en las principales ciudades del mundo (Reay et al., 2007). En los últimos años la comunidad científica está debatiendo sobre los factores que influyen en el calentamiento global, es decir si las causas y sus efectos, son de origen natural o son originados por las actividades antropogénicas (Varotsos et al., 2019).

El cambio climático se entiende como la variación del clima, identificado a través de los análisis y pruebas estadísticas en las variaciones de las propiedades a largo plazo o periodos extensos (Reay et al., 2007). La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) indica que el cambio climático es la variación de clima atribuido de manera directa o indirectamente a las actividades antropogénicas alterando la composición de la atmósfera, (Naciones Unidas, 2013). El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) señala que debido al cambio climático se intensificarán los riesgos existentes y de ello se presentarán nuevos riesgos en los seres humanos, así como en la naturaleza. Los riesgos se presentan de manera desigual y generalmente son mayores en las poblaciones desfavorecidas en los países en desarrollo (Reay et al., 2007). El cambio climático puede alterar la temperatura del aire y las precipitaciones de diferentes maneras. Dependiendo de la región, puede provocar graves problemas relacionados con el aumento de los caudales extremos, la aparición de incendios, la mortalidad de los árboles, la evapotranspiración, la disminución de la disponibilidad de agua y de otros servicios de los ecosistemas (Pontes et al., 2022).

Estudios realizados sobre las tendencias observadas y de proyección climática en los elementos climatológicos de precipitación y temperatura son escasos para Sudamérica siendo el cambio climático un problema con manifestaciones regionales y locales. A esto se suma que, en el Perú, estudios modelados para el pronóstico de la temperatura son muy escasos (Sutizal Sánchez, 2017). Además, los estudios de tendencias en la cuenca del Amazonas se centran principalmente en la región brasileña (Marengo, 2004; Marengo et al., 1998). De acuerdo a Marengo et al. (2009) en los últimos 50 años, en muchos lugares, las frecuencias de las fuertes precipitaciones han aumentado, generalizando cambios en temperaturas extremas.

Casos extremos de temperatura se manifiestan a través de la ocurrencia de períodos largos de calor o frío y pueden tener severos impactos en nuestro medio ambiente y en la sociedad. Los análisis de la temperatura con registros históricos en algunas regiones del mundo ya han mostrado variabilidad en la temperatura (Marengo et al., 1998). Se entiende como tendencias a los cambios progresivos que muestran tendencias crecientes o decrecientes en un tiempo determinado de las variables climatológicas (Sayyad et al., 2021). Las tendencias sobre el clima vienen recibiendo una considerable atención en los últimos años como parte de un interés a escala local y regional por lo cual vienen realizando estrategias de adaptación y mitigación a posibles cambios futuros en el clima (Martinez et al., 2012). Por otro lado, se conoce que los bosques amazónicos incrementan los niveles de precipitaciones a escala regional, ya que los árboles absorben agua del suelo y la devuelven a la atmósfera a través de la transpiración. Por lo tanto, los cambios en el uso de la tierra en la Amazonia afectan a los patrones de precipitación, pero no está claro en qué medida (Baudena et al., 2021).

Estudiar el clima, las tendencias, sus variaciones y sus posibles impactos son importantes debido a que esto podría permitir la planificación sobre las actividades de los seres humanos, más aún en el desarrollo sostenible. Considerando que el Perú, a nivel mundial, es responsable del 0.4% de las emisiones de los gases de efecto invernadero y que está considerado como el tercer país más vulnerable a los riesgos generados por el cambio climático. Se tiene conocimiento de que en los últimos años se ha perdido poco más del 22% de la cobertura glacial. La alta vulnerabilidad

del Perú al cambio climático se debe a que el 52% de la población presenta altos índices de pobreza y que el 21% subsiste en extrema pobreza (Paricahua Choque, 2021). A esto se suma que en el Perú no cuenta con la economía y tecnología para la adaptación en los problemas que se vienen suscitando (Paricahua Choque, 2021).

En este contexto, el objetivo del presente estudio fue analizar las tendencias de la precipitación y la temperatura del aire en la ciudad de Puerto Maldonado, Amazonía peruana, durante el periodo 1970-2017.

## 2. Materiales y métodos

**Área de estudio.** Los datos de precipitación y temperatura corresponden a la estación meteorológica ubicada en la ciudad de Puerto Maldonado. La ciudad de Puerto Maldonado se localiza a una altitud de 201 m s.n.m, rodeado por los ríos Madre de Dios y Tambopata. La ciudad de Puerto Maldonado limita por el Norte con el río Madre de Dios y por el Sur con el río Tambopata.

**Estación meteorológica.** La estación meteorológica Puerto Maldonado se encuentra en las siguientes coordenadas Latitud 12°35'1'' S y Longitud 69°12'1'' W, con una altitud de 200 m s.n.m. La estación meteorológica Puerto Maldonado (SENAMHI-12) se encuentra ubicado en el distrito y provincia de Tambopata. La estación meteorológica es tipo convencional. Sus instalaciones se encuentran en parte de la infraestructura de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios. Su instalación ha sido removida en varias oportunidades por no presentar características adecuadas para la colecta de información meteorológica. La información histórica para la variable climatológica de temperatura data del año 1958 y la precipitación desde 1961, actualmente se encuentra información libre en su portal web desde el año 2013 a partir del mes de diciembre hasta la actualidad. Los datos son de escala diaria de precipitación, temperatura media, temperatura máxima y mínima.

**Diseño de estudio.** El diseño de investigación es no experimental con un diseño longitudinal de tendencia. Para el análisis del comportamiento y tendencias del elemento climatológico de precipitación se ha utilizado un registro histórico de precipitación total diaria de la estación meteorológica de Puerto Maldonado. El periodo de registro utilizado fue 1970 – 2017.

**Análisis de datos.** El presente trabajo de investigación se realizó a partir de la base de datos de los registros históricos y datos modelados de los elementos climatológicos de precipitación y temperatura (PISCO) del SENAMHI.

El tratamiento de los datos consistió en ordenar la base de datos observada y modelada en la serie mensual, anual y estacional; para lo cual se utilizó la herramienta de Microsoft Excel, lo que permitió tener una base de datos ordenada y clasificada, según los periodos de estudio, con la finalidad de poder identificar el comportamiento y las tendencias de la precipitación y temperatura respectivamente.

Para el análisis de las tendencias lineales de temperatura y precipitación se utilizó el análisis de regresión lineal simple con la finalidad de determinar la pendiente o tasa de cambio de la temperatura media, temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación por unidad de tiempo. El análisis de regresión simple se realizó utilizando el programa estadístico PAST 3.21 (Hammer et al., 2013). Para la temperatura el periodo de análisis considerado fue de 1970 – 2017, este periodo se subdividió en (1) 1970 – 2017, (2) 1980 – 2017 (Tabla 1). Para la precipitación abarcó desde 1970 – 2017, este periodo fue subdividido en (1) 1970 – 2017, (2) 1980 – 2017 (Tabla 1). Estas subdivisiones se realizaron con la finalidad de observar cambios en la tendencia lineal en los últimos años según los periodos. En cada pendiente estimada (mensual y anual) se estableció el nivel de significancia en 5% ( $P\text{-value} < 0.05$ ). De acuerdo con Acuña Azarte (2015) existe tendencia

lineal en la serie climática y es sustentada estadísticamente con un nivel de probabilidad de error de 5% es decir menor a 0,05.

### 3. Resultados y discusión

#### 3.1. Análisis de tendencia de la temperatura media

Para el periodo 1970 - 2017 se observó un incremento significativo de la temperatura media anual y en todos los meses del año ( $P\text{-value} < 0,05$ ) (Tabla 1) en 2,40°C. Los meses con mayor incremento fueron agosto (+3,38 °C), junio (+3,14 °C) y setiembre (+2,71 °C) los cuales son meses de época seca. Los meses con menor incremento fueron diciembre, enero y febrero.

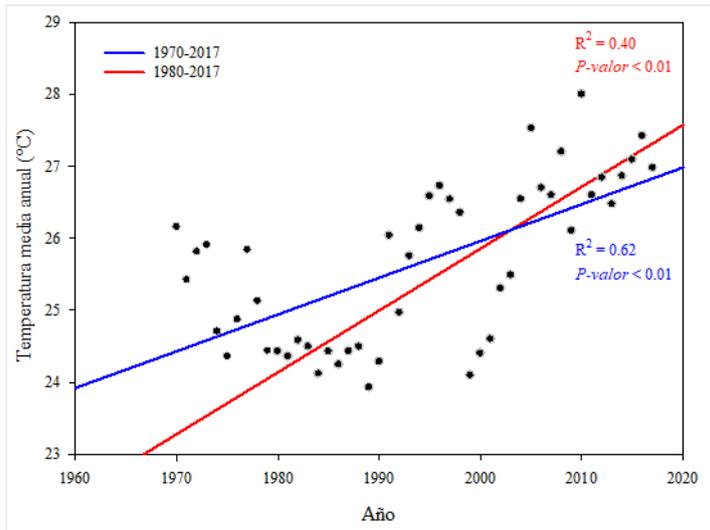
Por otro lado, para el periodo 1980 - 2017 el incremento de la temperatura media anual fue estadísticamente significativo ( $P\text{-value} < 0,05$ ) con un valor de 3,19 °C (Figura 1), y en todos los meses del año, siendo el mes de junio el que presentó un mayor incremento de la temperatura media anual (+4,40°C), así mismo en mes de febrero presentó menor incremento de la temperatura media (Tabla 1 y Figura 2).

Resultados similares con el incremento de la temperatura media situados en la cuenca amazónica fueron encontrados por Lavado Casimiro et al. (2012), estos autores encontraron un incremento significativo de la temperatura media (0,09 °C/década) durante el periodo 1965 - 2007, analizando entre 22 a 48 estaciones meteorológicas.

Según el estudio de Malhi & Wright (2004), desde mediados de la década de 1970 los bosques tropicales amazónicos han experimentado un fuerte calentamiento. La tasa promedio fue de 0,26 ± 0,05 °C/década (Malhi & Wright, 2004), superior al reportado en el presente estudio (0,18 °C/década).

**Tabla 1.** Resultados del análisis de tendencia lineal (regresión) de la temperatura media anual y mensual en los periodos (A) 1970-2017 y (B) 1980-2017

(A)	Temperatura media 1970-2017												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Pendiente	0,032	0,031	0,035	0,047	0,039	0,067	0,053	0,072	0,058	0,043	0,046	0,038	0,051
$\Delta T_m$ (°C)	1,507	1,469	1,657	2,226	1,850	3,144	2,504	3,381	2,712	2,036	2,152	1,764	2,401
$r^2$	0,199	0,278	0,245	0,387	0,212	0,296	0,211	0,395	0,313	0,263	0,305	0,279	0,402
$P\text{-value}$	<b>0,004</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,002</b>	<b>0,001</b>	<b>0,004</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,001</b>	<b>0,000</b>	<b>0,001</b>	<b>0,000</b>
(B)	Temperatura media 1980-2017												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Pendiente	0,065	0,057	0,063	0,073	0,070	0,119	0,095	0,115	0,113	0,081	0,082	0,065	0,086
$\Delta T_m$ (°C)	2,420	2,117	2,320	2,715	2,589	4,401	3,527	4,244	4,194	2,984	3,026	2,411	3,178
$r^2$	0,507	0,548	0,495	0,611	0,381	0,531	0,401	0,598	0,681	0,541	0,566	0,484	0,623
$P\text{-value}$	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>

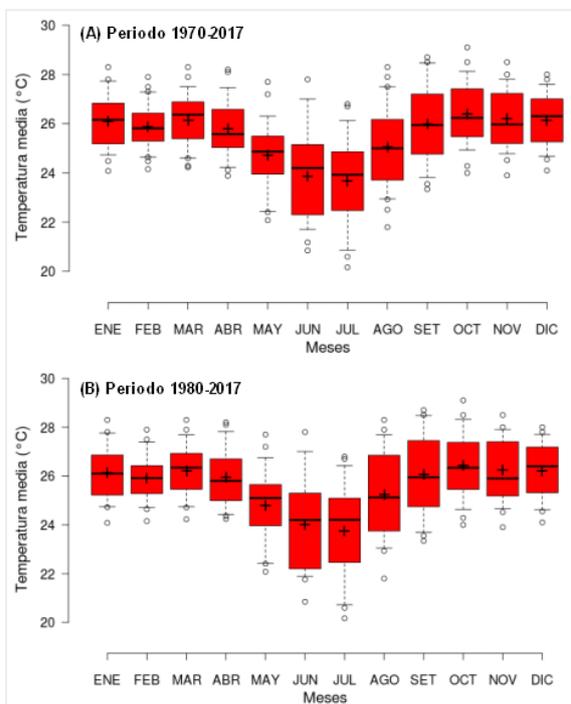


**Figura 1.** Tendencia lineal de la temperatura media anual según periodos de evaluación

(A) 1970 – 2017

(B) 1980 – 2017

Comportamiento mensual de la temperatura media promedio a lo largo del año, para el periodo 1970-2017. La temperatura promedio más baja se registró en los meses de junio y julio; lo que concuerda para los dos periodos de evaluación, siendo el mes de julio (23 °C) que registró menor temperatura, por lo general en estos meses suele tener temperaturas bajas. Mientras que para el periodo 1970 – 2017 la temperatura media anual registró el valor mínimo de (23,45 °C) en 1980 y el valor máximo en el año 2010, con 28,0 °C. La temperatura media promedio anual registrada fue de 25,95 °C ± 1,1.



**Figura 2.** Temperatura media mensual, según periodos evaluados

(A) 1970 – 2017

(B) 1980 - 2017

Rojo = incremento significativo. Las cruces representan medias muestrales.

### 3.2. Análisis de tendencia de la temperatura máxima promedio

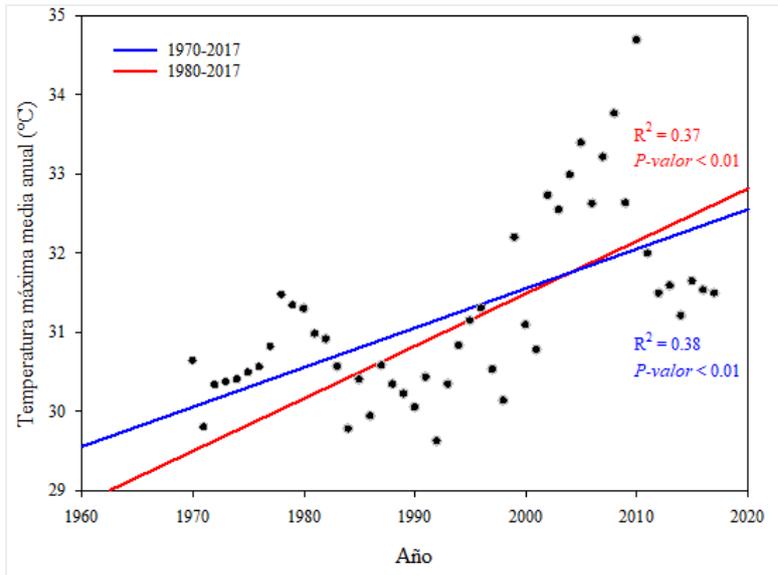
Durante el periodo 1970 - 2017, la temperatura máxima promedio anual para la estación meteorológica de Puerto Maldonado ha presentado un incremento estadísticamente significativo ( $P\text{-value} < 0,05$ ) de 2,35 °C. Así mismo se observó el incremento de la temperatura máxima para todos los meses del año, siendo el mes de agosto el que presentó mayor incremento (+2,59 °C) y los meses de febrero y marzo registraron los menores incrementos de la temperatura media (Tabla 2 y Figura 3).

La temperatura máxima promedio anual para el periodo 1980 - 2017 presentó un incremento estadísticamente significativo ( $P\text{-value} < 0,05$ ) de 2,46 °C. También se observó que todos los meses del año presentaron incremento significativo en la temperatura máxima ( $P\text{-value} < 0,05$ ), siendo el mes de septiembre el que presentó un mayor incremento (+3,01 °C) y el de menor incremento de la temperatura fue los meses de diciembre y febrero (Tabla 2, Figura 3 y Figura 4).

El incremento de la temperatura máxima también fue reportado para la selva amazónica por Acuña Azarte (2015) que encontró el aumento en promedio de la temperatura máxima en 0,11 °C/década periodo 1971 - 2010, reportado en 7 estaciones de un total de 17 meteorológicas. Así mismo señala que la tendencia o incremento de la temperatura está relacionada con los años de las series climáticas.

**Tabla 2.** Resultados del análisis de tendencia lineal (regresión) de la temperatura máxima anual y mensual en los periodos (A) 1970-2017 y (B) 1980-2017

(A)	Temperatura máxima promedio 1970-2017												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Pendiente	0,042	0,040	0,039	0,055	0,041	0,055	0,052	0,060	0,049	0,041	0,043	0,041	0,050
$\Delta T_{mx}$ (°C)	1,978	1,881	1,856	2,563	1,919	2,592	2,438	2,804	2,296	1,923	2,043	1,939	2,349
r <sup>2</sup>	0,254	0,221	0,266	0,412	0,169	0,175	0,185	0,347	0,269	0,259	0,312	0,365	0,379
<i>P-value</i>	<b>0,001</b>	<b>0,002</b>	<b>0,001</b>	<b>0,000</b>	<b>0,005</b>	<b>0,006</b>	<b>0,005</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,001</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>
(B)	Temperatura máxima promedio 1980-2017												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Pendiente	0,055	0,047	0,051	0,065	0,046	0,069	0,067	0,070	0,082	0,056	0,059	0,048	0,066
$\Delta T_{mx}$ (°C)	2,028	1,732	1,894	2,412	1,718	2,536	2,468	2,587	3,016	2,074	2,179	1,771	2,456
r <sup>2</sup>	0,243	0,173	0,252	0,371	0,124	0,148	0,183	0,336	0,393	0,362	0,344	0,285	0,374
<i>P-value</i>	<b>0,006</b>	<b>0,015</b>	<b>0,002</b>	<b>0,000</b>	<b>0,041</b>	<b>0,023</b>	<b>0,012</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,001</b>	<b>0,000</b>

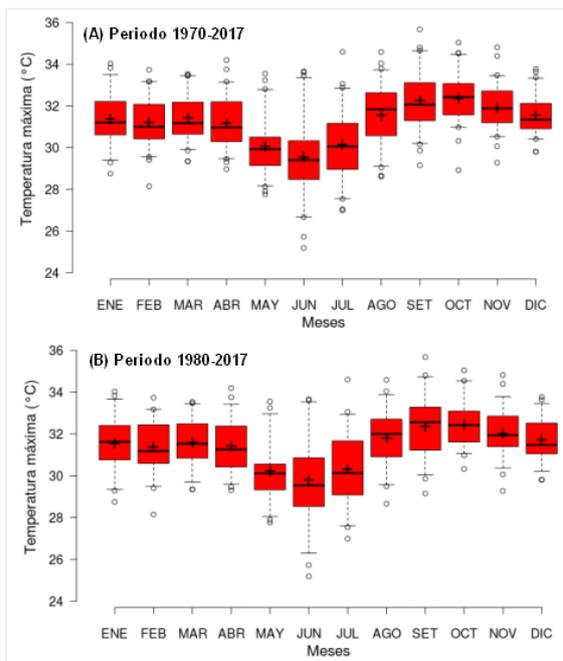


**Figura 3.** Tendencia lineal de la temperatura máxima promedio según periodos de evaluación

(A) 1970 – 2017

(B) 1980 – 2017

Comportamiento mensual de la temperatura máxima promedio a lo largo del año, para el periodo 1970-2017. La temperatura máxima promedio mensual más baja se registró en el mes de junio (29,71 °C). Así mismo se observa que las temperaturas más altas que se registraron entre los meses de setiembre y octubre (32,33 °C). En la ciudad de Puerto Maldonado, según el registro histórico para el periodo 1970 – 2017 la temperatura máxima anual registró el valor mínimo de (29,61 °C) en 1975 y el valor máximo en el año 2010, con 34,68 °C. La temperatura máxima promedio anual registrada fue de 31,22 °C ± 1,13.



**Figura 4.** Temperatura máxima mensual según periodos evaluados

(A) 1970 – 2017

(B) 1980 - 2017

Rojo = incremento significativo.

Gris = NS. Las cruces representan medias muestrales.

### 3.3. Análisis de tendencia de la temperatura mínima promedio

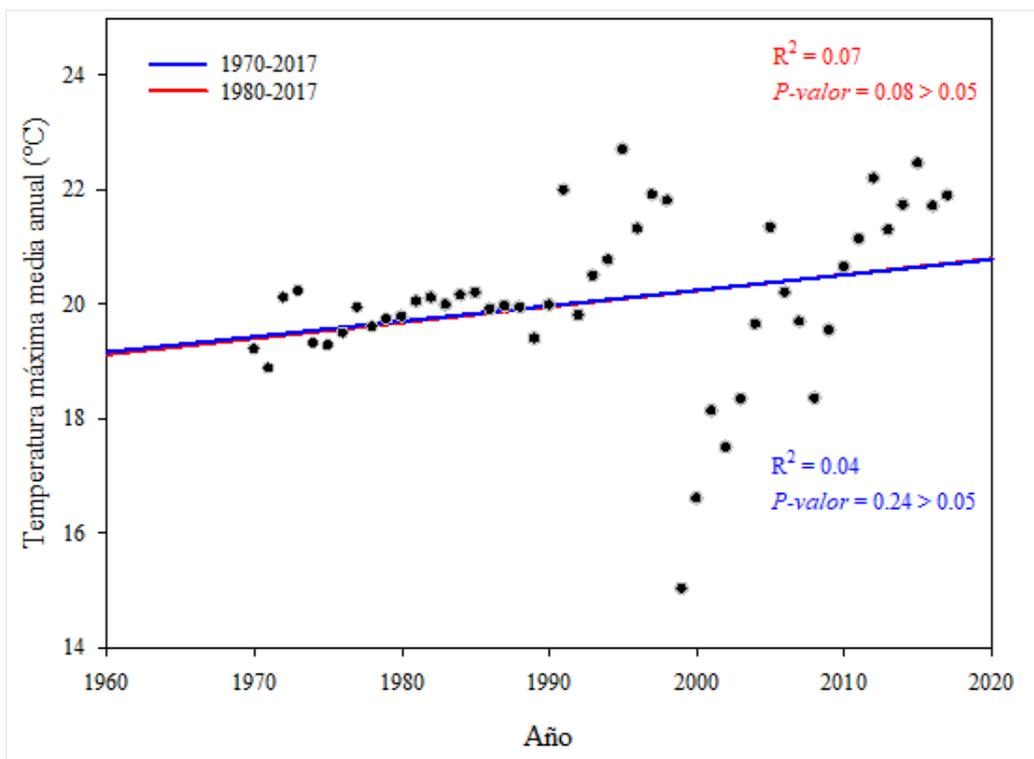
Para el periodo de estudio 1970 - 2017 no se encontró el incremento significativo en la temperatura mínima promedio anual ( $P\text{-value} > 0,05$ ). Además, se observa que las temperaturas mínimas más bajas se registraron en enero (-0,09), febrero (-0,01) y marzo (-0,04), siendo el mes de febrero el que presentó el registro de temperatura mínima más baja. Asimismo, los registros de temperaturas mínimas más altas se registran entre los meses mayo (1,56 °C) junio (2,65 °C), julio (2,75 °C), agosto (2,78 °C) y setiembre (2,39 °C), siendo estadísticamente significativo ( $P\text{-value} < 0,05$ ) respectivamente (Tabla 3 y Figura 5).

En el periodo de análisis que comprende los años 1980 - 2017 en la temperatura mínima promedio anual estadísticamente no se encontró un incremento ( $P\text{-value} > 0,05$ ), sin embargo, en los meses junio (+2,71°C), julio (+2,84°C), agosto (+2,71°C) y setiembre (+2,66°C) se incrementó la temperatura mínima estadísticamente significativo ( $P\text{-value} < 0,05$ ), siendo el mes de julio que presentó mayor incremento. Los meses de enero (-0,12°C), febrero (-0,04°C) y marzo (-0,05 °C) presentaron las temperaturas mínimas más bajas, pero no fueron significativas ( $P\text{-value} > 0,05$ ) (Tabla 3 y Figura 6).

**Tabla 3.** Resultados del análisis de tendencia lineal (regresión) de la temperatura mínima anual y mensual en los periodos (A) 1970-2017 y (B) 1980-2017

(A)	Temperatura mínima promedio 1970-2017												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Pendiente	-0,002	0,000	-0,001	0,018	0,033	0,056	0,059	0,060	0,051	0,028	0,027	0,007	0,027
$\Delta T_m$ (°C)	-0,089	-0,006	-0,042	0,829	1,560	2,652	2,755	2,799	2,394	1,293	1,290	0,335	1,271
r <sup>2</sup>	0,000	0,000	0,000	0,029	0,098	0,245	0,191	0,228	0,252	0,064	0,031	0,004	0,066
p-value	0,901	0,997	0,963	0,284	<b>0,039</b>	<b>0,001</b>	<b>0,003</b>	<b>0,001</b>	<b>0,001</b>	0,101	0,271	0,680	0,080
(B)	Temperatura mínima promedio 1980-2017												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Pendiente	-0,003	-0,001	-0,001	0,004	0,025	0,073	0,077	0,073	0,072	0,031	0,042	0,003	0,028
$\Delta T_m$ (°C)	-0,127	-0,044	-0,054	0,165	0,922	2,707	2,837	2,711	2,664	1,138	1,563	0,112	1,033
r <sup>2</sup>	0,001	0,000	0,000	0,001	0,033	0,251	0,187	0,203	0,262	0,042	0,040	0,000	0,037
p-value	0,892	0,974	0,960	0,858	0,310	<b>0,019</b>	<b>0,010</b>	<b>0,004</b>	<b>0,002</b>	0,256	0,267	0,916	0,246

Realizando la comparación entre los promedios de 1970 - 2017 y 1980 - 2017, se comprueba que junio, julio, agosto y setiembre continúan siendo los meses del año donde se presentaron incremento en la temperatura mínima, y los meses enero, febrero y marzo fueron meses donde disminuyó la temperatura mínima en ambos periodos. El incremento de la temperatura mínima anual y mensual también fueron reportados en la cuenca amazónica durante el periodo 1965 - 2007 (Lavado et al., 2013; Acuña Azarte, 2015) para el periodo 1971 - 2010.



**Figura 5.** Tendencia lineal de la temperatura mínima promedio según periodos evaluados

(A) 1970 - 2017

B) 1980 - 2017

El comportamiento de las temperaturas mínimas mensuales durante el periodo de análisis desde 1970 a 2017 dio como resultado que las temperaturas mínimas más bajas son en los meses de junio (18,02 °C) y julio (17,35 °C) para la estación meteorológica de Puerto Maldonado. La temperatura mínima máxima correspondió al mes de diciembre con un valor de (21,28 °C). En la ciudad de Puerto Maldonado, según el registro histórico para el periodo 1970 - 2017 la temperatura mínima anual registró el valor mínimo de (15,01 °C) en 1999 y el valor máximo en el año 1995, con 22,7°C. La temperatura máxima promedio anual registrada fue de 20,18 °C ± 1,6.

Las variaciones en los incrementos de las temperaturas mensuales (media, máxima y mínima), especialmente durante la estación seca, ha sido reportado por estudios previos (Chaddad et al., 2022); (Monteiro Lucas et al., 2021); (Pontes et al., 2022). Esto demuestra los efectos del cambio climático en esta parte de la Amazonia.

Asimismo, un estudio reciente, desarrollado en Madre de Dios, demostró que la deforestación inducida por la minería alteró la temperatura de la superficie en los alrededores de una zona donde se desarrolla la minería aurífera, aumentando de 30 a 39 °C en el área donde se desarrollan estas actividades (Chaddad et al., 2022).

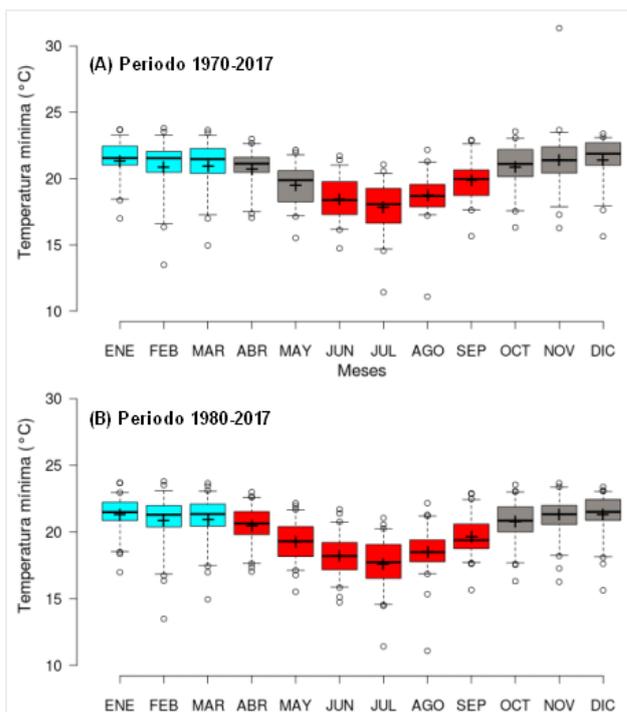


Figura 6. Temperatura mínima promedio según periodos evaluados

(A) 1970 – 2017

(B) 1980 – 2017

Rojo = incremento significativo.

Gris = incremento no significativo.

Turquesa = disminución no significativa.

Las cruces representan medias muestrales.

### 3.4. Análisis de tendencia de la precipitación

El periodo de estudio 1970 – 2017, la precipitación total anual y mensual registró una disminución (-118,26 mm) no significativa a lo largo del periodo de estudio ( $P\text{-value} > 0.05$ ). Por otra parte, se observa una disminución de la precipitación en ocho meses del año. En el mes de mayo y diciembre se registró un incremento de precipitaciones, aunque éstas no fueron estadísticamente significativas (Tabla 4 y Figura 7).

Tabla 4. Resultados del análisis de tendencia lineal (regresión) de la precipitación anual y mensual en los periodos (A) 1970-2017 y (B) 1980-2017

(B)	Precipitación (mm) 1970-2017												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Pendiente	-0,616	0,051	-0,506	-0,185	0,907	0,007	-0,758	-0,525	-0,799	-0,798	-1,107	0,824	-2,517
$\Delta Pp$ (mm)	-28,932	2,414	-23,774	-8,685	42,629	0,352	-35,631	-24,682	-37,536	-37,505	-52,024	38,722	-118,290
r <sup>2</sup>	0,003	0,000	0,004	0,001	0,045	0,000	0,032	0,015	0,028	0,015	0,035	0,011	0,007
P-value	0,720	0,970	0,684	0,848	0,178	0,987	0,254	0,446	0,275	0,428	0,245	0,512	0,619
(C)	Precipitación (mm) 1980-2017												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Pendiente	-3,231	-2,281	-1,783	-1,061	0,214	0,250	-0,650	1,032	-1,106	-2,905	-1,856	1,394	-11,729
$\Delta Pp$ (mm)	-119,547	-84,408	-65,978	-39,253	7,928	9,253	-24,039	38,166	-40,926	-107,485	-68,672	51,567	-433,973

r2	0,049	0,034	0,032	0,020	0,002	0,004	0,014	0,062	0,041	0,117	0,057	0,017	0,079
P-value	0,217	0,297	0,315	0,450	0,835	0,744	0,537	0,182	0,255	<b>0,048</b>	0,189	0,465	0,128

Según Espinoza et al.(2010) las precipitaciones disminuyen con mayor fuerza en las estaciones secas como con (JJA y SON) y sin embargo en los meses de diciembre, enero, febrero, marzo, abril y mayo no es tanto. Durante el periodo de estudio 1980 - 2017, no se encontró un incremento estadísticamente significativo en la precipitación anual ( $P\text{-value} > 0,05$ ). Sin embargo, el mes de octubre presentó disminución de la precipitación siendo estadísticamente significativo en (-107,48 mm) ( $P\text{-value} < 0,05$ ). Asimismo, el mes que presentó mayor precipitación fue diciembre y la menor precipitación se registró en junio; y durante los meses de julio, setiembre, octubre, noviembre, enero, febrero, marzo y abril disminuyó la precipitación, aunque también estadísticamente no fueron significativas ( $P\text{-value} > 0,05$ ). La señal estacional o mensual en la reducción de las precipitaciones ha sido reportada por estudio previos (Baudena et al., 2021; Chaddad et al., 2022; Monteiro Lucas et al., 2021; Pontes et al., 2022; Sierra et al., 2022), y estaría relacionado con la pérdida de humedad (Baudena et al., 2021), especialmente durante la estación seca. Además, esto puede ser influenciado por actividades antrópicas locales, por ejemplo, la deforestación, que puede afectar el clima local debido a una menor contribución en la formación de nubes y, por tanto, a un descenso de la humedad local, lo que reduciría significativamente el volumen de precipitaciones (Chaddad et al., 2022).

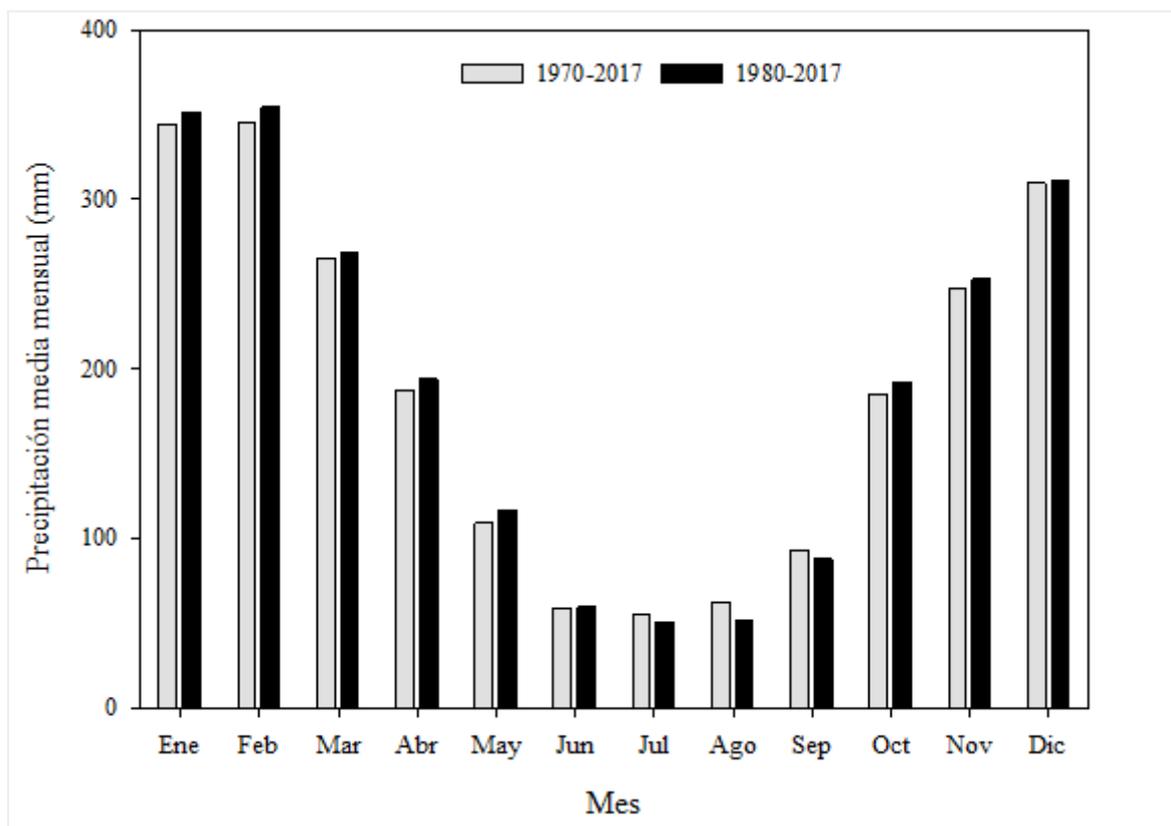


Figura 7. Precipitación promedio mensual según periodos evaluados

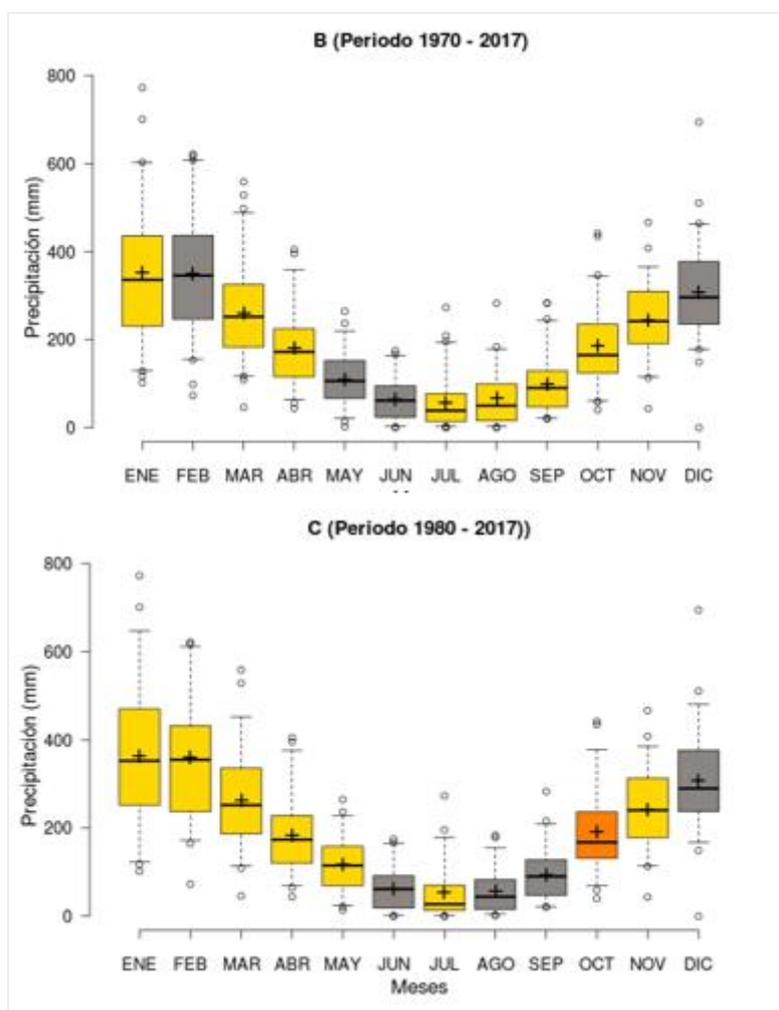
(A)1970 - 2017

(B) 1980 - 2017

Realizando la comparación entre los periodos 1970 - 2017 y 1980 - 2017 se observa que el mes con menor precipitación fue el mes de junio, además que en ambos periodos la precipitación

promedio disminuyó en los mismos meses del año, siendo el mes de febrero del periodo 1970 - 2017 que no disminuyó pero que presentó menor cantidad de precipitación.

Para el periodo 1970 - 2017 la precipitación anual registró el valor mínimo de (1413 mm) en 1989 y el valor máximo en el año 1982, con 3734 mm. La precipitación promedio anual registrada fue de  $2193,94 \pm 455,7$  mm. Las precipitaciones mensuales se concentran en los meses de enero, febrero, noviembre y diciembre que son de mayor persistencia pluvial con precipitaciones máximas de 336,43 mm, 352,36 mm, 363,28 mm para los períodos según evaluación; con precipitación promedio registradas de 2194, 2251 y 2284 mm. Así mismo los meses de junio, julio y agosto son meses que presentan precipitación pluvial más baja, también conocida como época de estiaje. El registro más intenso en precipitación pluvial fue en los años 1982, 1984, 1981 y 2014 con 3734, 3091, 3064 y 2888 mm. Este comportamiento se repite en los años de evaluación observándose los mayores registros de la precipitación para la estación meteorológica de Puerto Maldonado (Figura 8).



**Figura 8.** Precipitación promedio según periodos evaluados

(A) 1970 - 2017

(B) 1980 - 2017

Naranja = disminución significativa.

Gris = NS.

Crema = disminución NS.

Las líneas centrales muestran las medianas; los límites de los recuadros indican los percentiles.

Interesantemente, se encontró que las precipitaciones se incrementaron durante la estación lluviosa (febrero, marzo y abril). Esto se relacionaría a que el reciente aumento de las precipitaciones se debe al calentamiento global, que genera un incremento del contenido de humedad atmosférica, lo que a su vez se convierte en la principal causa de las precipitaciones intensas y extremas que se producen en todo el planeta (Sayyad et al., 2021; Seung Kyu & Truong An, 2019; Sinha et al., 2020).

#### 4. Conclusiones

En la serie histórica observada del SENAMHI (1970-2017) se encontró un incremento significativo de la temperatura media y máxima (anual y mensual) y no significativas para la temperatura mínima. No se encontró un incremento o disminución significativa en la precipitación anual, solo se encontró una disminución significativa en las precipitaciones del mes de octubre.

#### Financiamiento

Ninguno.

#### Conflicto de intereses

Los autores declaran que no incurren en conflicto de intereses.

#### Contribución de autores

A-A, A. S. y S-T, E.: Conceptualización, análisis formal, investigación, escritura (preparación del borrador final).

A-A, A. S. y S-T, E.: Metodología, investigación, curación de datos, redacción (revisión y edición).

#### Referencias bibliográficas

- Acuña Azarte, D. (2015). *Análisis Multivariado para la generación de escenarios climáticos 2040-2050 en el Perú* [Universidad Nacional Agraria la Molina].  
[https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNAL\\_89412c11ea87ae6e24c663823b3f9f38](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNAL_89412c11ea87ae6e24c663823b3f9f38)
- Baudena, M., Tuinenburg, O. A., Ferdinand, P. A., & Staal, A. (2021). Effects of land-use change in the Amazon on precipitation are likely underestimated. *Global Change Biology*, 27(21), 5580–5587. <https://doi.org/10.1111/gcb.15810>
- Chaddad, F., Mello, F. A. O., Tayebi, M., Safanelli, J. L., Campos, L. R., Amorim, M. T. A., Barbosa de Sousa, G. P., Ferreira, T. O., Ruiz, F., Perlatti, F., Greschuk, L. T., Rosin, N. A., Fim Rosas, J. T., & Demattê, J. A. M. (2022). Impact of mining-induced deforestation on soil surface temperature and carbon stocks: A case study using remote sensing in the Amazon rainforest. *Journal of South American Earth Sciences*, 119, 103983.  
<https://doi.org/10.1016/j.jsames.2022.103983>
- Espinoza, J. C., Ronchail, J., Lavado, W., Cochonneau, G., Oliveira, E., Pombosa, R., Vauchel, P., & Guyot, J. (2010). Spatio-temporal rainfall variability in the Amazon basin and its relationship to regional hydrological variability. A particular focus in the Andean region. *Revista Peruana Geo-Atmosférica RPGA*, 2(2), 99–130.  
<https://hdl.handle.net/20.500.12542/1047>

- Hammer, Ø., Harper, D. A. T., & Ryan, P. D. (2013). National knowledge resource consortium - a national gateway of S&T on-line resources for CSIR and DST laboratories. *Current Science*, 105(10), 1352-1357. [https://palaeo-electronica.org/2001\\_1/past/issue1\\_01.htm](https://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm)
- Lavado Casimiro, W. S., Labat, D., Ronchail, J., Espinoza, J. C., & Guyot, J. L. (2012). Trends in rainfall and temperature in the Peruvian Amazon-Andes basin over the last 40 years (1965-2007). *Hydrological Processes*. <https://doi.org/10.1002/hyp.9418>
- Lavado, W., Labat, D., Ronchail, J., Espinoza, J. C., & Guyot, J. L. (2013). Trends in rainfall and temperature in the Peruvian Amazon-Andes basin over the last 40 years (1965-2007) Waldo. *Hydrological Processes*, 27(20), 2944-2957. <https://doi.org/10.1002/hyp.9418>
- Malhi, Y., & Wright, J. (2004). Spatial patterns and recent trends in the climate of tropical rainforest regions. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 359(1443), 311-329. <https://doi.org/10.1098/rstb.2003.1433>
- Marengo, J. A. (2004). Interdecadal variability and trends of rainfall across the Amazon basin. *Theoretical and Applied Climatology*, 78(1-3). <https://doi.org/10.1007/s00704-004-0045-8>
- Marengo, J.A., Jones, R., Alves, L. M., & Valverde, M. C. (2009). Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from the PRECIS regional climate modeling system. *International Journal of Climatology*, 29(15), 2241-2255. <https://doi.org/10.1002/joc.1863>
- Marengo, José A., Tomasella, J., & Uvo, C. R. (1998). Trends in streamflow and rainfall in tropical South America: Amazonia, eastern Brazil, and northwestern Peru. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 103(2), 1775-1783. <https://doi.org/10.1029/97JD02551>
- Martinez, C. J., Maleski, J. J., & Miller, M. F. (2012). Trends in precipitation and temperature in Florida, USA. *Journal of Hydrology*, 452-453, 259-281. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.05.066>
- Monteiro Lucas, E. W., Salviano de Sousa, F. de A., dos Santos Silva, F. D., da Rocha Júnior, R. L., Cavalcante Pinto, D. D., & Rodrigues da Silva, V. de P. (2021). Trends in climate extreme indices assessed in the Xingu river basin - Brazilian Amazon. *Weather and Climate Extremes*, 31, 100306. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2021.100306>
- Naciones Unidas. (2013). Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. *Choice Reviews Online*, 50(7), 50-3868-50-3868. <https://doi.org/10.5860/CHOICE.50-3868>
- Paricahua Choque, M. (2021). Cambio climático y desarrollo sostenible. *Revista Latinoamericana Ogmios*, 1(1), 82-90. <https://doi.org/10.53595/rlo.2021.1.008>
- Pontes, P. R. M., Cavalcante, R. B. L., Giannini, T. C., Costa, C. P. W., Tedeschi, R. G., Melo, A. M. Q., & Xavier, A. C. F. (2022). Effects of Climate Change on Hydrology in the Most Relevant Mining Basin in the Eastern Legal Amazon. *Water*, 14(9), 1416. <https://doi.org/10.3390/w14091416>
- Reay, D., Sabine, C., Smith, P., & Hymus, G. (2007). Spring-time for sinks. *Nature*, 446(7137), 727-728. <https://doi.org/10.1038/446727a>
- Sayyad, R. S., Dakhore, K. K., & Phad, S. V. (2021). Analysis of rainfall trend of Parbhani, Maharashtra using Mann- Kendall test. *Journal of Agrometeorology*, 21(2), 239-240. <https://doi.org/10.54386/jam.v21i2.244>
- Seung Kyu, L., & Truong An, D. (2019). Change trends of rainfall features for the long xuyen quadrangle, Vietnam. *Journal of Agrometeorology*, 21(3), 382-384. <https://journal.agrimetassociation.org/index.php/jam/article/view/266/211>
- Sierra, J. P., Junquas, C., Espinoza, J. C., Segura, H., Condom, T., Andrade, M., Molina-Carpio, J., Ticona, L., Mardoñez, V., Blacutt, L., Polcher, J., Rabatel, A., & Sicart, J. E. (2022).

- Deforestation impacts on Amazon-Andes hydroclimatic connectivity. *Climate Dynamics*, 58(9–10), 2609–2636. <https://doi.org/10.1007/s00382-021-06025-y>
- Sinha, H. K., Manikandan, N., Chaudhary, J. L., & Nag, S. (2020). Extreme rainfall trends over chhattisgarh state of india. *Journal of Agrometeorology*, 22(2), 215–219. <https://doi.org/10.54386/jam.v22i2.173>
- Sutizal Sánchez, B. A. (2017). *Modelos empíricos para pronóstico de temperaturas mínimas en período de inicio y fin de campaña Agrícola* [Universidad Nacional Agraria la Molina]. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/5415>
- Varotsos, C. A., Efstathiou, M. N., & Christodoulakis, J. (2019). Abrupt changes in global tropospheric temperature. *Atmospheric Research*, 217, 114–119. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2018.11.001>