

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD
DEL CUSCO
ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRIA EN CAMBIO CLIMATICO Y DESARROLLO
SOSTENIBLE**



T003_47660984_M

**ANÁLISIS DE TENDENCIAS DE PRECIPITACIÓN Y
TEMPERATURA (1970–2017) EN LA CIUDAD DE
PUERTO MALDONADO, PERÚ.**

**Tesis presentada por:
Br. Andrea Susans Aucahuasi
Almidón.**

**Para optar el grado académico de
Maestro en Cambio Climático y
Desarrollo Sostenible.**

**ASESOR:
M.Sc. Nelson Quispe Gutiérrez
CO-ASESOR
M.Sc. Jorge Santiago Garate Quispe**

Cusco, octubre de 2019

DEDICATORIA

A Dios, por la bendición de tener a mis padres Javier Aucahuasi Pacheco y Susana Almidón Sánchez, ellos me brindaron confianza y amor desde que era una niña; y son el motivo de superación e inspiración para continuar siempre adelante.

Esta tesis está dedicada a todos quienes en alguna oportunidad se han encontrado conmigo brindándome su apoyo espiritual y moral.

Está dedicada también a todas las personas que de alguna manera me brindaron su apoyo y me enseñaron que siempre hay fuerzas para seguir adelante. Y sobre todo a las personas que han deseado lo mejor en el transcurso de mi formación profesional. Sobre los problemas que pudiera haber siempre existe una luz de la paz y la tranquilidad para un mejor mañana en pro de la construcción de un mundo mejor.

Andrea Susans Aucahuasi Almidón.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco por darme esta oportunidad de estudiar a través de su sede filial y su oferta académica en la Ciudad de Puerto Maldonado. A la escuela de Posgrado, por darme las herramientas para promover el desarrollo sostenible y por generar esos espacios de intercambio académico.

Al Ing. M.Sc. Nelson Quispe Gutiérrez, por su revisión y apoyo para sacar adelante la presente investigación. De manera especial mi agradecimiento al Ing. M.Sc Jorge Santiago Garate Quispe, por brindarme todo su apoyo hasta el final de la presente investigación, así mismo por darme muchos alientos para estar fijada en este estudio tan importante.

Mis agradecimientos sinceros a los miembros jurados calificadores de la presente investigación: Dr. Carlos Jesús Baca García; Dr. Wilmer Flores García; Dr. Mario Morveli Salas; Mgt. Nilton Montoya Jara, docentes de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco.

Al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) por la distribución de la información sobre los elementos climatológicos de la ciudad de Puerto Maldonado, mediante la oficina principal en Lima y la ciudad de Cusco.

A mi compañero que acompaña mis días de mi vida todo mi agradecimiento por su motivación en mi vida encaminada al éxito, estoy gratamente agradecida con esa persona que se preocupó por mí y lo más importante es que siempre quiso lo mejor para mi porvenir futuro.

A mis compañeros de promoción y maestría: Elizabeth Chulla, Nelson Gutiérrez, Oliver Liao, Edwin Hanco, Martín Pillaca, por su compañerismo y amistad. A mis profesores de todo el siglo de estudios de la Maestría Antoniana en Puerto Maldonado.

BIOGRAFIA

Andrea Susans Aucahuasi Almidón, nacida en el departamento de Apurímac, Provincia de Abancay el 21 de enero de 1991. Realice mis estudios de primaria y secundaria en la provincia de Aymaraes – Chalhuanca en la Institución Educativa Secundaria “María Auxiliadora de Chalhuanca”. Mi permanencia fue en la comunidad campesina de Chuquina, distrito de Chalhuanca.

Se graduó en la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios en 2014 en Ingeniería Forestal y Medio Ambiente, obteniendo el título en Ingeniería Forestal y Medio Ambiente. Egresó con rendimiento académico de pertenecer al décimo superior de la promoción universitaria. Ingresé al estudio de maestría el año 2015. Culminó el estudio de Master en Cambio Climático y Desarrollo Sostenible 2015 – 2016 en la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco con sede filial en Puerto Maldonado.

Índice General

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.1. Situación Problemática.....	1
1.2. Formulación del Problema.	3
a. Problema general	3
b. Problemas específicos:.....	3
1.3. Justificación de la Investigación.....	4
1.4. Objetivos de la Investigación.....	5
1.4.1. Objetivo General.	5
1.4.2. Objetivos Específicos.....	5
II. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL.....	6
2.1. Bases teóricas.....	6
2.2.1. Tendencias.....	6
2.2.2. Temperatura.....	6
2.2.3. Precipitación.....	7
2.2. Marco conceptual (palabras clave)	8
2.2.1. Cambio Climático	8
2.1.1. Meteorología	9
2.1.2. Climatología	9
2.1.3. Variabilidad climática	9
2.1.4. Calentamiento global	10
2.1.5. Récor ds de temperatura y de precipitación	10
2.2.2. Clima	11
2.2.3. Serie temporal.....	12
2.2.4. Tiempo	12
2.2.5. Gases de efecto invernadero	12
2.3. Antecedentes empíricos de la Investigación.....	13
III. HIPOTESIS Y VARIABLES	29
3.1. Hipótesis.....	29
Hipótesis general (H1).....	29
3.2. Identificación de variables e indicadores.....	29
IV. METODOLOGIA.....	31
4.1. Ámbito de estudio: localización política y geográfica	31
4.1.1. Localización política y geográfica	31
4.1.2. Características principales de la estación meteorológica de Puerto Maldonado (Zonal 12).	35

4.2.	Tipo y nivel de investigación	36
4.3.	Unidad de análisis	37
4.4.	Técnicas de selección de muestra	37
4.5.	Técnicas de recolección de información	38
4.6.	Técnicas de análisis de la información.....	40
4.6.1.	Materiales.....	40
4.6.2.	Metodología	42
V.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	47
5.1.	Procesamiento y discusión de resultados	47
5.2.	Comportamiento medio anual, mensual de los elementos climatológicos de temperatura y precipitación en la ciudad de Puerto Maldonado.	48
5.2.1.	Análisis de la tendencia lineal mediante registros históricos del SENAMHI.	48
5.2.2.	Análisis de la tendencia lineal mediante datos climatológicos modelados (PISCO).....	62
5.3.	Análisis de las tendencia anual, mensual y estacional de los elementos climatológicos de temperatura y precipitación en la ciudad de Puerto Maldonado. .	71
5.3.1.	Análisis de la tendencia mediante registros históricos del SENAMHI. ...	71
5.3.2.	Análisis de la tendencia mediante datos climatológicos modelados (PISCO).....	80
VI.	CONCLUSIONES.....	93
VII.	RECOMENDACIONES	94
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	95
ANEXOS.....		106

Índice de tablas

Tabla 1. Ubicación de la estación meteorológica – Puerto Maldonado.....	35
Tabla 2. Periodo de estudio.....	37
Tabla 3. Periodo de estudio para el análisis de tendencia lineal (regresión).....	43
Tabla 4. Periodo de estudio para el análisis de tendencia.....	45
Tabla 5. Resultados del análisis de tendencia lineal (regresión) de la temperatura media anual y mensual en los periodos (A) 1970-2017 y (B) 1980-2017.	49
Tabla 6. Estadísticos de la temperatura media 1970 – 2017.....	51
Tabla 7. Resultados del análisis de tendencia lineal (regresión)de la temperatura máxima anual y mensual en los periodos (A) 1970-2017 y (B) 1980-2017.	52
Tabla 8. Estadísticos de la temperatura máxima 1970 – 2017.....	54
Tabla 9. Resultados del análisis de tendencia lineal (regresión) de la temperatura mínima anual y mensual en los periodos (A) 1970-2017 y (B) 1980-2017.	56
Tabla 10. Estadísticos de la temperatura mínima 1970 – 2017.....	58
Tabla 11. Resultados del análisis de tendencia lineal (regresión) de la precipitación anual y mensual en los periodos (A) 1970-2017 y (B) 1980-2017.	59
Tabla 12. Estadísticos de precipitación 1970 – 2017.....	61
Tabla 13. Resultados del análisis de tendencia lineal (regresión) de la temperatura media anual y mensual (A) 1981-2015.....	62
Tabla 14. Estadísticos de temperatura media 1981 – 2015.....	64
Tabla 15. Resultados del análisis de la tendencia lineal (regresión) de la temperatura máxima anual y mensual (A) 1981-2015.....	65
Tabla 16. Estadísticos de temperatura máxima 1981 – 2015.....	66
Tabla 17. Resultados del análisis de tendencia lineal (regresión) de la temperatura mínima anual y mensual (A) 1981-2015.....	67
Tabla 18. Estadísticos de temperatura mínima 1981 – 2015.....	68
Tabla 19. Resultados del análisis de la tendencia lineal (regresión) de la precipitación anual y mensual (A) 1981-2016.....	69
Tabla 20. Estadísticos de precipitación 1981 – 2016.....	70
Tabla 21. Resultados de las estadísticas del test de Mann-Kendall (Z) durante 1970-2017 de la temperatura media anual y mensual.....	72
Tabla 22. Resultados de las estadísticas del test de Mann-Kendall (Z) durante 1970-2017 de la temperatura máxima anual y mensual.....	74
Tabla 23. Resultados de las estadísticas del test de Mann-Kendall (Z) durante 1970-2017 de la temperatura mínima anual y mensual.....	75
Tabla 24. Resultados de las estadísticas del test de Mann Kendall durante 1970-2017 de la precipitación anual y mensual.....	77
Tabla 25. Tendencias estacionales de precipitación y temperatura – SENAMHI.....	79
Tabla 26. Resultados de las estadísticas del test de Mann-Kendall durante 1981-2015 de la temperatura media anual y mensual (PISCO).....	81

Tabla 27. Resultados de las estadísticas del test de Mann-Kendall durante 1981-2015 de la temperatura máxima anual y mensual (PISCO).	82
Tabla 28. Resultados de las estadísticas del test de Mann-Kendall durante 1981-2015 de la temperatura mínima anual y mensual (PISCO).	83
Tabla 29. Resultados de las estadísticas del test de Mann-Kendall durante 1981-2016 de la precipitación anual y mensual (PISCO).	85
Tabla 30. Resultados de las estadísticas del test de Mann Kendall para la precipitación y temperatura estacional (PISCO).	86
Tabla 31. Regresión lineal de la deforestación entre el tiempo.....	87
Tabla 32. Coeficiente de Spearman para las variables climatológicas de precipitación, temperatura y deforestación durante 2001 – 2017.	88

Índice de figuras

Figura 1. Tendencia de la temperatura y precipitación (1901-2012)..	14
Figura 2. Mapa de cambio en la precipitación observada entre 1951-2010.)	14
Figura 3. Anomalías de la temperatura media a escala mundial, según cinco conjuntos de datos mundiales.	15
Figura 4. Registros de temperatura en la Selva Peruana.	19
Figura 5. Monitoreo de la temperatura diurna para la estación Puerto Maldonado.	23
Figura 6. Monitoreo de la temperatura diurna para la estación de Iñapari.	23
Figura 7. Variación de la temperatura máxima anual para el año 2030.	25
Figura 8. Variación porcentual de la precipitación para el año 2030.	25
Figura 9. Distribución de la precipitación anual para la región de Madre de Dios.	26
Figura 10. Distribución de la temperatura máxima anual para la región de Madre de Dios.	27
Figura 11. Distribución de la temperatura mínima para la región de Madre de Dios.	27
Figura 12. Evolución del número de habitantes del departamento de Madre de Dios, por años censales.	32
Figura 13. Población total estimada a nivel de provincias en el departamento de Madre de Dios (2017).	33
Figura 14. Mapa de clasificación climática del Perú.	34
Figura 15. Ubicación de la estación meteorológica de Puerto Maldonado – SENAMHI.	36
Figura 16. Tendencia lineal de la temperatura media anual según periodos de evaluación.	49
Figura 17. Temperatura media mensual, según periodos evaluados.	50
Figura 18. Tendencia lineal de la temperatura máxima promedio según periodos de evaluación.	53
Figura 19. Temperatura máxima mensual según periodos evaluados.	54
Figura 20. Tendencia lineal de la temperatura mínima promedio según periodos evaluados.	57
Figura 21. Temperatura mínima promedio según periodos evaluados.	57
Figura 22. Precipitación promedio mensual según periodos evaluados.	60
Figura 23. Precipitación promedio según periodos evaluados.	61
Figura 24. Tendencia de la temperatura media promedio según el periodo de evaluación	63
Figura 25. Temperatura máxima según el periodo evaluado 1981 – 2015.	64
Figura 26. Tendencia lineal de la temperatura máxima promedio según el periodo de evaluación	65
Figura 27. Temperatura máxima según el periodo evaluado.	66
Figura 28. Tendencia lineal de la temperatura mínima promedio según el periodo de evaluación.	67
Figura 29. Temperatura mínima según el periodo evaluado.	68
Figura 30. Tendencia lineal de la precipitación según el periodo de evaluación	69
Figura 31. Precipitación promedio según el periodo evaluado.	70
Figura 32. Tasa anual de la deforestación en el departamento de Madre de Dios, en el periodo 2001 a 2017.	87

Figura 33. Coeficiente de Spearman para la variable de temperatura máxima y deforestación, durante los años 2001 a 2017 en el departamento de Madre de Dios.....	89
Figura 34. Coeficiente de Spearman para la variable de temperatura mínima y deforestación, durante los años 2001 a 2017 en el departamento de Madre de Dios.....	90
Figura 35. Coeficiente de Spearman para la variable de temperatura media y deforestación, durante los años 2001 a 2017 en el departamento de Madre de Dios.....	91
Figura 36. Coeficiente de Spearman para la variable de precipitación y deforestación, durante los años 2001 a 2017 en el departamento de Madre de Dios.	92

LISTA DE ABREVIATURAS

SENAMHI	:	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú.
PISCO	:	Peruvian Interpolated data of the SENAMHI's Climatological and hydrological Observations.
IPCC	:	Grupo Intergubernamental de Expertos Sobre el Cambio Climático.
CMNUCC	:	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.
MINAM	:	Ministerio del Ambiente.
GOREMAD	:	Gobierno Regional de Madre de Dios.
OMM	:	Organización Meteorológica Mundial.
GEI	:	Gas de Efecto Invernadero.
INEI	:	Instituto Nacional de Estadística e Informática.
PEA	:	Población Económicamente Activa.

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 y base de datos climatológicos modelados (1981-2015) de PISCO del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). Se analizó mediante análisis de regresión lineal y las tendencias mediante el test de Mann-Kendall y el test de Pettitt para determinar los probables años de cambio en las tendencias climatológicas utilizando el paquete trend disponible en R. En los resultados 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 los datos climatológicos modelados se encontró incremento significativo en 0.47 °C (Tmean), en 0.44° C (Tmax) y 0.49°C (Tmin) (1981-2015). En los registros observados de temperatura media, máxima y mínima anual y mensual se encontró una tendencia positiva significativa ($P\text{-value} < 0.05$) y la precipitación anual observada no mostró ninguna tendencia; sin embargo, en la temperatura máxima y precipitación anual modelada no se encontró tendencias ($P\text{-value} > 0.05$). El punto probable de cambio en la Tmean (durante el año 1990), la Tmax (durante 1997) y la Tmin (durante 2009). En los datos climatológicos modelados el punto de cambio en la Tmean (durante 2004). En el análisis estacional de la temperatura media y máxima se encontró tendencias positivas significativas para las estaciones de verano, otoño, invierno y primavera; en la temperatura mínima se encontró tendencias en invierno y primavera. Por otro lado, se encontró tendencia positiva en la precipitación estacional de primavera. En los datos climatológicos modelados se encontró tendencia positiva en la temperatura media y mínima de verano y primavera, en la temperatura máxima se encontró en la estación de primavera, en la precipitación estacional no se encontró tendencias.

Palabras clave: Tendencias, temperatura, precipitación, cambio climático.

ABSTRACT

The objective of the study was to evaluate the behavior and trends of temperature and precipitation in the city of Puerto Maldonado. We used series of average temperature (Tmean), maximum temperature (Tmax), minimum temperature (Tmin) and precipitation (1970-2017) of the Puerto Maldonado weather station and modeled weather database (1981-2015) of PISCO of the National Service of Meteorology and Hydrology of Peru (SENAMHI). It was analyzed by linear regression analysis and trends using the Mann-Kendall test and the Pettitt test to determine the likely years of change in weather trends using the trend package available in R. In the results 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 minima and the observed precipitation did not show an increase during the period 1970-2017. In the modeled climatological data, a significant increase was found in 0.47 ° C (Tmean), in 0.44 ° C (Tmax) and 0.49 ° C (Tmin) (1981-2015). In the observed records of average, maximum and minimum annual and monthly temperature, a significant positive trend was found ($P\text{-value} < 0.05$) and the annual precipitation observed did not show any trend; however, no trends were found in the maximum temperature and modeled annual precipitation ($P\text{-value} > 0.05$). The probable point of change in the Tmean (during the year 1990), the Tmax (during 1997) and the Tmin (during 2009). In the weather data modeled the point of change in the Tmean (during 2004). In the seasonal analysis of the average and maximum temperature, significant positive trends were found for the summer, autumn, winter and spring seasons; In the minimum temperature trends were found in winter and spring. On the other hand, a positive trend was found in seasonal spring precipitation. In the modeled weather data, a positive trend was found in the average and minimum temperature of summer and spring, in the maximum temperature it was found in the spring season, in the seasonal precipitation no trends were found.

Key words: Trends, temperature, precipitation, climate change.

INTRODUCCIÓN

En la presente investigación se analiza el comportamiento y tendencias de los elementos climatológicos de precipitación y temperatura, utilizando registros históricos observados (estación meteorológica de Puerto Maldonado) y datos climatológicos modelados (PISCO) del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) para la ciudad de Puerto Maldonado.

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 brusco de temperatura en las principales ciudades del mundo (IPCC, 2014). 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, Efstathiou, y Christodoulakis, 2018).

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 (IPCC, 2014). 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, (CMNUCC, 1992).

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 presentará 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 desarrollo (IPCC, 2014).

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 (Norabuena, 2014). Además que, los estudios de tendencias en la cuenca del Amazonas se centran principalmente en la región brasileña (Marengo, 2004; Marengo y Tomasella, 1998). De acuerdo a (Marengo, Jones, Alves, y Valverde, 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 y Tomasella, 1998).

Se entiende como tendencias a los cambios progresivos que muestran tendencias crecientes o decrecientes en un tiempo determinado de las variables climatológicas (Bradley *et al.*, 1987). 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, Maleski y Miller, 2012).

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. Es de esta forma, la intención del presente estudio es analizar el comportamiento y las tendencias de los elementos climatológicos de temperatura y precipitación de la ciudad de Puerto de Maldonado utilizando registros históricos observados y datos climatológicos modelados (PISCO) del SENAMHI.

En la primera parte del estudio se recopiló información sobre la situación problemática de las tendencias de temperatura y precipitación a escala nacional, regional y local. También se presenta la formulación del problema, la

justificación, así como los objetivos de la presente investigación. La segunda parte se tiene la consideración de las bases teóricas, bases conceptuales y los antecedentes empíricos internacional, nacional y regional los que resaltan el presente estudio de investigación. En la tercera parte de la presente investigación se presenta las hipótesis en relación al comportamiento y tendencias de los elementos climatológicos de temperatura y precipitación. En la cuarta parte se muestra la metodología desarrollada para analizar el comportamiento y las tendencias de temperatura y precipitación en la ciudad de Puerto Maldonado. Y finalmente se presentan los resultados del análisis, las discusiones y conclusiones de la presente investigación.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

1.1. Situación Problemática.

En el presente estudio de investigación se ha elegido como zona de estudio la ciudad de Puerto Maldonado, departamento de Madre de Dios. Se pretende conocer el comportamiento y las tendencias de los elementos climáticos de precipitación y temperatura, mediante el análisis de los registros históricos y datos climatológicos modelados (PISCO) del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).

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 (MINAM, 2009). 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 (MINAM, 2009).

En la actualidad, uno de los temas más preocupantes para la comunidad científica, está relacionado al Cambio Climático y sus consecuencias para las futuras generaciones, pasando a un futuro con amenazas por las variaciones de temperatura, precipitación y entre otros elementos climatológicos. La temperatura es una determinante para el cambio climático, debido a que esta variable influye sobre las especies, así como en el desarrollo de la vida. Así mismo la precipitación es importante porque influye sobre muchas actividades.

El departamento de Madre de Dios, viene sufriendo los posibles impactos del cambio climático, parte de los cambios y efectos se viene manifestándose en (1) prolongadas olas de calor (incremento de la

temperatura), (2) disminución brusca de la temperatura (friajes) siendo estos cada vez más frecuentes durante el año y (3) alteraciones en el régimen anual de precipitaciones (MINAM, 2013). Además, en Puerto Maldonado se observa que debido al crecimiento acelerado de la urbanización se viene perdiendo las áreas verdes, ocasionado una mayor sensación de calor en la población local, exposición y vulnerabilidad a múltiples efectos del cambio climático. Por lo tanto, aunque se tiene registros históricos de temperatura y precipitación, no existen estudios sobre las tendencias de las variables climáticas en Puerto Maldonado.

Por otro lado, Bonan (2008), Pielke *et al.* (2011) y Salazar *et al.* (2015) indican que los cambios de cobertura del uso de suelo tienen influencia en el clima regional presentando impactos frecuentemente, que son expresados por cambios en la cantidad y frecuencias de precipitación y aumento de la temperatura. Así mismo Canziani y Benitez (2012) señalan que el cambio climático es impulsado por el cambio de uso de la tierra. La región Amazónica en los últimos 40 años viene presentando cambios intensos en el uso de la tierra y cobertura del suelo (Munis, Marengo, Fu, y Bombardi, 2017). Moraes, Franchito y Rao (2013) manifiestan que la deforestación ha sido señalada como una de la principales causas del cambio climático regional e incluso mundial. Por lo anterior es probable que la deforestación de los bosques cercanos a la ciudad de Puerto Maldonado haya contribuido a los cambios del clima regional y local; ya que los bosques tienen una influencia directa sobre el clima provocando variabilidad en la temperatura y otros elementos climatológicos.

1.2. Formulación del Problema.

Una de las preguntas más importantes respecto al comportamiento y las tendencias de los elementos climatológicos de temperatura y precipitación, es si su ocurrencia está aumentando o disminuyendo con el tiempo. Es decir, si las formas de distribución de los eventos son más o menos frecuentes o están cambiando, en ese sentido las preguntas principales de esta investigación están relacionado a:

a. Problema general

¿Cómo es el comportamiento y las tendencias medio anual y mensual de los elementos climatológicos de precipitación y temperatura del aire en la ciudad de Puerto Maldonado durante el periodo 1970-2017, mediante el análisis de los registros históricos y datos climatológicos modelados (PISCO) del SENAMHI?

b. Problemas específicos:

¿Cuál es el comportamiento medio anual, mensual de los elementos climatológicos de la precipitación y temperatura del aire en la ciudad de Puerto Maldonado, durante el periodo 1970-2017 mediante el análisis de los registros históricos y datos climatológicos modelados (PISCO) del SENAMHI?

¿Cuál es la tendencia medio anual, mensual y estacional de los elementos climatológicos de precipitación y temperatura del aire en la ciudad de Puerto Maldonado durante el periodo 1970 – 2017 mediante el análisis de los registros históricos y datos climatológicos modelados (PISCO) del SENAMHI?

1.3. Justificación de la Investigación.

El cambio climático y los estudios sobre el análisis de tendencia de la variabilidad climática en los últimos años viene siendo de prioridad y de mucho interés para los diferentes países del mundo. Los estudios de tendencias climáticas son muy importantes ya que estas permiten conocer los posibles cambios sobre los elementos climatológicos de temperatura y precipitación en territorios determinados y en tiempos determinados.

Con el presente estudio se pretende conocer las posibles señales de cambio climático en la ciudad de Puerto Maldonado, considerando un periodo de estudio mayor a los 30 años. Así mismo es muy importante organizar y generar información sobre las tendencias de las variables climatológicas de temperatura, debido a que en el departamento de Madre de Dios no ha sido de prioridad y es de necesidad de llevar a cabo el presente estudio que permita analizar las tendencias. Por lo tanto, el generar conocimientos sobre el comportamiento y tendencias de los elementos climáticos de temperatura y precipitación en la ciudad de Puerto Maldonado es importante para el avance del conocimiento del cambio climático a nivel local y esta pueda permitir en la elaboración y el diseño de las estrategias de adaptación y mitigación sobre el cambio climático como instrumentos de la política pública.

Los resultados y datos obtenidos en el estudio servirán como base para otros estudios que guarden relación en los diferentes lugares principalmente en la región Amazónica y de esta forma poder plantear alternativas y medidas contra los posibles efectos del cambio climático. Finalmente, los resultados servirán para poder proveer información a la comunidad científica sobre las tendencias de los elementos climatológicos de temperatura y precipitación a nivel local específicamente en la ciudad de Puerto Maldonado es fundamental para la adopción y toma de decisiones.

1.4. Objetivos de la Investigación

1.4.1. Objetivo General.

- Identificar el comportamiento y las tendencias de los elementos climatológicos de precipitación y temperatura del aire en la ciudad de Puerto Maldonado durante el periodo de 1970 – 2017, mediante registros históricos y datos climatológicos modelados (PISCO) del SENAMHI.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Identificar el comportamiento medio anual, mensual de los elementos climáticos de precipitación y temperatura del aire en la ciudad de Puerto Maldonado durante el periodo de 1970 – 2017, mediante registros históricos y datos climatológicos modelados (PISCO) del SENAMHI.
- Identificar las tendencias climáticas de los elementos climáticos de precipitación y temperatura mensual, anual y estacional en la ciudad de Puerto Maldonado durante el periodo de 1970 – 2017, mediante registros históricos y datos climatológicos modelados (PISCO) del SENAMHI.

II. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL.

2.1. Bases teóricas.

2.2.1. Tendencias

Mendenhall (2009) señala que la tendencia es el variación gradual de un tiempo determinado a valores relativamente altos durante plazos relativamente largos. Las tendencias agrupan variables cuantitativas que se registran en el tiempo (diarios, semanal, mensual, trimestral o anual) formando el conjunto de datos en una serie de tiempo (Mendenhall, 2009).

Tarazona (2015) indica que la tendencia es el patrón de evolución sostenido en un tiempo de mediano y largo plazo de una determinada serie, por lo que se entiende en crecer, decrecer o estables. Los análisis de las tendencias se determinan utilizando la regresión lineal respectivamente.

Por otra parte, las tendencias se entiende por los cambios graduales de incremento o disminución en el tiempo de la variables de precipitación y temperatura (Castro y Carvajal, 2013; Mendez, Navar y Gonzales 2008).

2.2.2. Temperatura

Ahrens (2016) define a la temperatura como el grado de calor o frialdad de una sustancia y es medido por un termómetro; también es definida como una medida de la velocidad promedio o energía cinética de los átomos y moléculas en una sustancia.

De acuerdo a Reyes (2016) la temperatura en la superficie de la tierra viene determinada por la cantidad de calor almacenado, que a su vez esta depende del flujo de calor, en tal punto, radiación solar (entrada)

y radiación terrestre (salida). Los mecanismos de la precipitación podrían ser el grado de evaporación y el escurrimiento superficial (Reyes, 2016).

El SENAMHI (2009b) señala que la temperatura la una variable climatológica, los factores que determinar son: horario local, tipo de estación, territorio, etc. Y las clasifica en:

a. Temperatura media

Según el SENAMHI (2009b) la temperatura media es la media aritmética de la temperatura mínima y máxima.

b. Temperatura mínima

Según el SENAMHI (2009b) la temperatura mínima es representada como el registro más bajo de temperatura que es registrado durante el día (asumiendo las 24 horas del día). La temperatura mínima se registra durante las primeras horas del día.

c. Temperatura máxima

Según el SENAMHI (2009b) la temperatura máxima es representada como el registro más alto de temperatura que es registrado durante el día (asumiendo las 24 horas del día). La temperatura mínima se registra durante el mediodía y las horas de la tarde.

2.2.3. Precipitación

De acuerdo con Ahrens (2016) la precipitación es definida como cualquier partícula de agua, líquida o sólida, que cae de la atmosfera y llega al suelo. Asimismo, Ahrens (2016) menciona que existen 2 tipos de precipitación (a) lluvia, definida como precipitación de gotas de

agua líquida que tiene un diámetro igual o superior a 0.5 mm (b) nieve, que está compuesta de cristales de hielo en compleja forma hexagonal.

Así mismo Primo (2015) indica que a la precipitación se le conoce como a la caída de agua de las nubes, en estado líquido o sólido, lo cual los permita caer hasta el suelo. Además, señala que la precipitación se origina por diversas causas entre ellas señala a la orografía, convección, convergencia y la causa ciclónica.

Por otra parte se señala que la precipitación es un fenómeno caracterizado por su alta variabilidad espacio temporal (Tapia, 2016).

2.2. Marco conceptual (palabras clave)

2.2.1. Cambio Climático

El IPCC define al cambio climático como el estado del clima y que puede ser identificado por cambios en su variabilidad por periodos (años) (IPCC, 2007). Así mismo indican que los cambios en el clima pueden estar siendo ocasionados por los procesos naturales internos o como también aun forzamiento externo. También señalan que, el cambio climático es un problema global (IPCC, 2007).

La Organización Meteorológica Mundial (OMM) señala que el cambio climático es el cambio que experimenta el clima, gracias a la actividad humana que se viene desarrollando directa o indirectamente, y que estos alteran la composición de la atmósfera global (OMM, 2008). Asimismo, Martelo (2004) indica que el cambio climático se manifiesta en tres elementos fundamentales, el primero se da en la temperatura global de la tierra, el segundo en la distribución espacio-temporal de la precipitación y el último en el nivel del mar.

2.1.1. Meteorología

La meteorología es la ciencia que se ocupa de las leyes que rigen los cambios atmosféricos entre ellos la temperatura, evaporación, humedad, etc. La meteorología además de ser una ciencia física tiene carácter geográfico por la distribución, en el espacio de los fenómenos atmosféricos, ya que su variación tiene estrecha relación con las características de cada lugar (Ayllon, 2003). Según el SENAMHI, la meteorología es la ciencia que se encarga del estudio de los fenómenos atmosféricos y de los mecanismos que producen en el tiempo y que está orientado a sus predicciones, del griego, meteoros (alto), logos (tratado). Por lo tanto, la meteorología tiene como finalidad la previsión del tiempo.

2.1.2. Climatología

Según la Organización Meteorológica Mundial, la climatología se fundamenta en el estudio del clima, así como de sus variaciones extremas y su influencia en varias actividades (OMM, 2011). Por otra parte la climatología es una ciencia que requiere de la información de cada una de los elementos meteorológicos de extensos periodos de tiempo para obtener valores medios que permitan detectar y apreciar la relación entre los fenómenos atmosféricos con la geografía del lugar y, de esta manera, determinar el clima (Ayllon, 2003). Brito (2013) señala que la climatología es la rama de la meteorología que estudia el clima basado en la física experimental y en la geografía. También manifiesta que la climatología se basa en la adquisición de datos, sobre todo en la toma de fenómenos que ocurren el curso de muchos años en un lugar determinado.

2.1.3. Variabilidad climática

Las variaciones del clima por determinados periodos de tiempo se denomina variabilidad climática (Montealegre, 2009). Torres y Gómez

(2008) indican que la variabilidad climática es entendida como intrínseca al clima. Luers y Moser (2006) señalan que la variabilidad climática comprende variaciones en el estado promedio del clima en todas las escalas temporales y espaciales comprendiendo eventos meteorológicos extremos que ocurren con cierta periodicidad como: los años extremadamente cálidos, inundaciones, eventos lluviosos, entre otros.

Por otro lado, Montealegre (2009) indica que a nivel local el estudio de la variabilidad climática permite analizar los impactos de la variación del clima o del cambio climático en la vida debido a que se sitúa en una escala temporal y espacial adecuado a nuestro periodo de vida e influye en las actividades del hombre, presentando ya fuertes cambios para la población y las actividades económicas en los países (Montealegre, 2009).

2.1.4. Calentamiento global

El IPCC (2014, pp. 129) define al calentamiento global como “el aumento gradual, observado y proyectado, de la temperatura global en la superficie, como una de las consecuencias del forzamiento radiativo provocado por las emisiones antropogénicas”.

2.1.5. Récorde de temperatura y de precipitación

Los récords de temperatura y de precipitación consiste en el recuento del número de las estaciones con series cronológicas que comprenden más de 30 años y recogen datos de las variables de temperatura máxima diaria más alta, temperatura diaria más baja y los datos totales de precipitación diaria más alto que son registrados para cada mes y años. Los récords de temperatura y precipitación tienen por finalidad de señalar e indicar si se produjeron fenómenos extremos, pero sin embargo no puede dar explicación de lo que sucedió en un determinado lugar (OMM, 2017b).

2.2.2. Clima

La OMM (2011) señala que el clima está representada por las condiciones meteorológicas que corresponden a un lugar y periodo de tiempo, así mismo manifiestan que el clima es explicado a través de descripciones estadísticas de las tendencias climáticas.

Por otra parte, el clima es definido como el conjunto medio de las condiciones atmosféricas entre ellos (precipitación, temperatura, humedad, velocidad del viento, etc.) que son condiciones predominantes en un lugar y un periodo de tiempo determinado (Pabon, 1997).

De acuerdo al IPCC (2014) el clima es definido como el estado promedio del tiempo y de forma rigurosa, entendido como una descripción estadística del tiempo atmosférico en términos de los valores promedios y de las magnitudes correspondientes en periodos. La OMM (2011) señala que el promedio de referencia climática es de 30 años para monitorear el clima y el tiempo; así mismo señala que los periodos históricos de 30 años son denominados como normales climatológicas, pudiéndose calcular en territorios de nivel internacional, nacional, regional y local.

Por otro lado, Milan (2009) señala que el clima de la tierra lo regula la atmósfera y depende de la temperatura de los océanos, capas de hielo, polos, montañas, nevados, lluvias y de la nubosidad de los vientos. Según Pabon (1997) el clima cambia en el tiempo y espacio, que surge a medida que va pasando los años.

2.2.3. Serie temporal

Representa a un conjunto de datos observados sobre una variable, esto ordenando según transcurre el tiempo, las series temporales permiten poder realizar los análisis de patrones de comportamiento, para analizar las secuencias de eventos en el tiempo y esto va permitir estimar su evolución para el futuro cercano (Aguilar, 2017).

2.2.4. Tiempo

Es el conjunto de fenómenos meteorológicos en un instante y lugar determinado OMM (2011). Así mismo señala que el tiempo puede tener variaciones a cada momento que pueden ser de las variables climatológicas de la precipitación, temperatura, humedad, viento y otros elementos climatológicos OMM (2011).

2.2.5. Gases de efecto invernadero

Se denomina gases de efecto invernadero (GEI) a los gases presentes en la atmósfera que estas atraen y emiten radiación (IPCC, 2007). En la reciente Ley marco sobre el Cambio Climático en el Perú, Ley N° 30755, señala que el efecto invernadero es denominado como los gases integrantes de la atmosfera, que son de origen natural o por las actividades antropogénicas que atrapan energía del sol en la atmosfera, provocando que esta se caliente (Ley N° 30755, 2018).

Por otro lado, el IPCC (2007) menciona que el factor determinante en los cambios del clima, en el tiempo industrial, es el incremento de la concentración en la atmósfera de muchos gases de efecto invernadero.

2.3. Antecedentes empíricos de la Investigación.

Recientemente, “los estudios sobre cambio climático se han enfocado a estudiar los cambios en frecuencia tales como la intensidad de los eventos extremos” (Renom, 2009, pp. 6). Los estudios se encuentran fundados a partir los registros diarios de una determinada localidad y de esta forma es comparable a nivel global (Renom, 2009). Asimismo, el cambio climático se manifiesta en cambios en los patrones de circulación atmosférica y se ve reflejado en el aumento de la temperatura de la superficie terrestre y de los océanos, también en los cambios de patrones de precipitación.

La Organización Centro Tyndall para la investigación del cambio climático (<http://www.tyndall.ac.uk/>), señala que el Perú, es el tercer país del mundo más vulnerable a los efectos negativos de los cambios climáticos, después de Bangladesh y Honduras, debido a que la Amazonía es el principal y fundamental reservorio de la biodiversidad del planeta y se encuentra en serio peligro por el incremento de rápido y creciente de la temperatura y los impactos de las actividades antrópicas. Bustamante (2010) señala que nuestro país figura entre los 20 países vulnerables a las variaciones del clima global debido a que se encuentra ubicado en un área geografía comprendido de montañas tropicales y esto se verá agravado ya que las poblaciones tiene bajos ingresos que son las poblaciones pobres y las economías dependen en gran medida de actividades económicas sensibles al cambio climático, así mismo señala que una de las evidencias más notorias en el Perú es que los glaciares andinos ya perdieron 22% de la masa de los glaciares.

a. Internacional

La Organización Mundial de Meteorología (OMM) reporta que el año 2017 fue el más cálido registrado, esto sin presencia del fenómeno del Niño. Durante el año 2017, señala que la temperatura promedio mundial se incrementó en torno a 1.1 °C, niveles que superaran a la temperatura

de preindustriales. Asimismo señala, que los últimos cinco años más cálidos se presentaron a partir del año 2010 (OMM, 2018). Por otra parte, el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC) señala que, las concentraciones de gases de efecto invernadero se han incrementado por las diferentes actividades económicas que se vienen desarrollando.

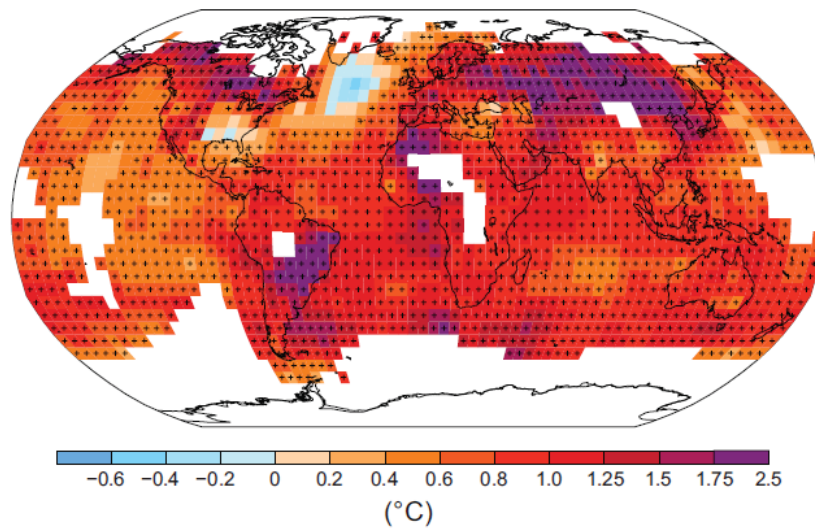


Figura 1. Tendencia de la temperatura y precipitación (1901-2012). Con el signo + se aprecia una tendencia significativa. **Fuente:** (IPCC, 2013)

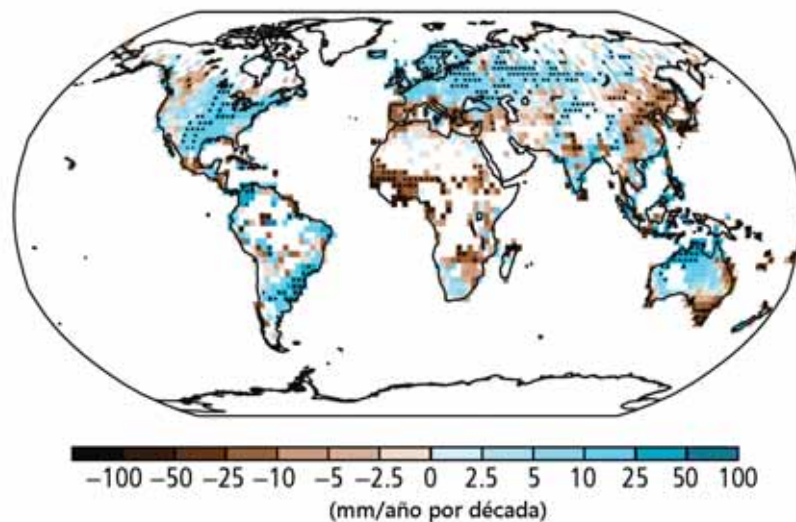


Figura 2. Mapa de cambio en la precipitación observada entre 1951-2010. Tendencias en la acumulación anual calculada bajo el mismo criterio que en la Figura 1. **Fuente:** (IPCC, 2014)

Según la Organización Meteorológica Mundial la temperatura media a nivel mundial se registró en $0.46 \text{ }^\circ\text{C} \pm 0,1 \text{ }^\circ\text{C}$ correspondiente a 1981-

2013, y en $1.1 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ de los registros preindustriales. De acuerdo a los resultados de la OMM, los años 2017 o 2015 no es posible determinar como el segundo o tercer año más cálido antes registrado, pero sí podrían ser sucesivo a 2016, año que superó en $0.56 \text{ }^{\circ}\text{C}$ la media de 1981-2010. Los años 2015, 2016 y 2017 son registrados como los más cálidos que otros años antes a 2015 (OMM, 2017a)

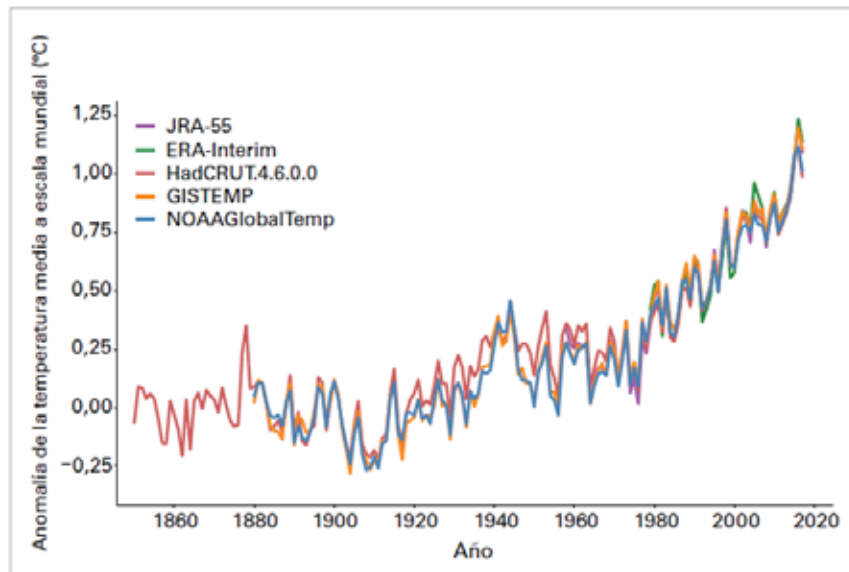


Figura 3. Anomalías de la temperatura media a escala mundial, según cinco conjuntos de datos mundiales. **Fuente:** (OMM, 2017a)

Vincent *et al.* (2005) realizaron el estudio de “Tendencias observadas en los índices extremos de temperatura diaria en América del Sur correspondiente al periodo 1960 – 2000”. El estudio se realizó con información meteorológica de un total de 68 estaciones de los países que comprende Ecuador, Perú, Chile, Argentina, Uruguay, Paraguay, Bolivia, Brasil. Sus resultados mostraron que no hay cambios en la temperatura máxima diaria, sin embargo, encontraron tendencias significativas en la temperatura mínima diaria. Vincent *et al.* (2005) encontraron tendencias significativas en el porcentaje de noches cálidas y tendencias decrecientes en el porcentaje de las noches frías (la noche más fría del año se está calentando y hay noches más tropicales), por lo que manifiestan que el porcentaje de las noches frías ha descendido, mientras que el porcentaje de noches cálidas es cada vez mayor y estos

cambios son más pronunciados durante el verano (DEF) y el otoño (MAM). Finalmente señalan que las temperaturas extremas están cambiando en América del Sur.

Alves, Santos, Querino y Gama (2016) realizaron el análisis de “Tendencias de precipitación zonal en el alto Rio Acre (Brasil)” para un tiempo promedio de 72 años utilizando datos precipitación diaria acumulada, los resultados que obtuvieron fue que existe un sesgo climático, generando constantes inundaciones en la cuenca del rio Acre en los últimos años. Finalmente concluyen que los eventos de precipitación generaron pérdidas económicas y sociales, y que el incremento o aumento de la precipitación se debe a la expansión de la actividad agrícola el mismo que modifica la vegetación natural para el ámbito de estudio.

Orozco, Escobar y Angel (2011) realizaron el análisis sobre “Tendencias de la precipitación mensual en la cuenca alta – media del rio cauca de Colombia del periodo 1975 – 2006, en un total de 108 estaciones meteorológicas. Los resultados mostraron cambios en la precipitación anual para un total de 24 estaciones meteorológicas. En el análisis trimestral en los meses de junio, julio y agosto encontraron una disminución significativa de la precipitación de -15% para 21 estaciones evaluadas. Concluyen que existen cambios en la precipitación con tiempo interanual por encima de los 1500 msnm para el ámbito de estudio.

Oñate y Bosque (2011) estudiaron las “Tendencias climáticas y generación de escenarios regionales de cambio climático en una cuenca hidrográfica binacional en América del Sur”. El estudio se desarrolló con información meteorológica de 40 estaciones meteorológicas entre Ecuador (20) y Perú (20) esta última correspondiente a la Red de Estaciones del SENAMHI. En sus resultados encontraron una tendencia creciente para la precipitación en 28 estaciones y que la mayor parte se dio en las estaciones que se encuentran por debajo de los 600 ms.n.m; y en las estaciones ubicados mayores a los 600 msnm presentaron

tendencias decrecientes (12 estaciones). Además, encontraron una tendencia creciente para 16 estaciones de 17 que estaciones, en la temperatura mínima encontraron tendencia decreciente en la mayoría de las estaciones. Concluyen que la variación de la tendencia creciente de la temperatura señala la posible existencia del cambio climático para el ámbito de estudio de la cuenca hidrográfica binacional (cuenca Catamayo-Chira).

Marengo *et al.* (2009) realizaron el estudio “Cambios futuros de temperaturas y precipitaciones extremas en América del Sur” derivados del sistema de modelación climática regional del PRECIS utilizando la distribución de los extremos de la temperatura y la precipitación en América del Sur en el pasado reciente (1961-1990) y en un clima futuro (2071-2100) bajo el IPCC SRES A2 y B2 escenarios de emisiones, sugieren que en todos los escenarios climáticos futuros se experimentaría un significativo en las precipitaciones y temperaturas extremas. Así mismo sugieren que en el futuro, la ocurrencia de noches cálidas se prevé que sean más frecuente en las zonas tropicales de América del Sur, mientras la ocurrencia de eventos de noches frío es probable que disminuyan.

Pedron *et al.* (2016) en el estudio “Tendencias y variabilidad en extremos de precipitación en Curitiba Sur de Brasil” analizaron la variable climatológica de precipitación con datos diarios desde 1989. Los resultados mostraron un aumento de la precipitación (tendencia positiva, a través del test de Mann-Kendall). El volumen anual y estacional de las lluvias ha aumentado y que la existencia de las tendencias se explica en parte por los factores climáticos globales causado por el calentamiento global incluido la urbanización.

Bonini *et al.* (2014) reporta resultados de su investigación sobre la “Precipitación y la deforestación en el Municipio de Colider – Amazonas”. El objetivo de este estudio fue analizar las variaciones de las

precipitaciones que ocurren en el municipio de Colíder, Mato Grosso, en el sur del Amazonas, Brasil, dentro de una escala temporal de 28 años (datos diarios). Los autores sugieren que la deforestación puede tener efectos sobre el ciclo hidrológico, influenciando directamente en la precipitación. Así mismo señalan que las evidencias del cambio climático causados por la deforestación son muy importantes, ya que ayudan a la comprensión de la forma en como estos cambios están relacionados con las formas de uso y ocupación del territorio. Los resultados de Bonini *et al.* (2014) mostraron una variación de la precipitación, con un mínimo de 1296 mm en 1987 y un máximo de 2492.8 mm en 1990. También encontraron correlaciones negativas entre la deforestación regional y local y las precipitaciones locales, lo que sugiere que cuanto mayor sea el área deforestada, menor será la intensidad de precipitación observada.

b. Nacional

Aguilar (2017) en su investigación “Análisis de tendencias de temperatura y precipitación pluvial en la cuenca del río llave” tuvo como objetivo determinar el comportamiento de tendencia de la variable de temperatura y precipitación. Entre sus resultados encontró que la variación de la temperatura en la cuenca del río llave fue de 1 °C a 1.7 °C para la zona baja, señalando que existe una tendencia significativa en la temperatura. Así mismo para la zona media de la cuenca del río llave encontró un incremento de la temperatura en 1°C. En relación a la variable climatológica de precipitación para la zona baja se encontró de 143 a 154 mm mostrando una tendencia de incremento, así mismo para la zona media y en la zona alta de la cuenca del río llave fue de 27 a – 62 mm y se predice que para el año 2050 se tendrá ausencia de precipitación en una de las estaciones. Finalmente concluye que el cambio climático está reflejado en la variación de la temperatura y que este puede interferir en la variación de la precipitación, afectando la disponibilidad del agua para las actividades de agricultura, ganadería y el ecosistema en general.

El SENAMHI (2015a) reportó datos que en la selva peruana (Iquitos, Tarapoto, Pucallpa, Yurimaguas, Moyobamba y Puerto Maldonado), se registró la menor temperatura en el año 1975 en la estación meteorológica de Puerto Maldonado, siendo el registro más bajo para el año 1975 que registró un valor de 4.5°C (Ver figura 4).

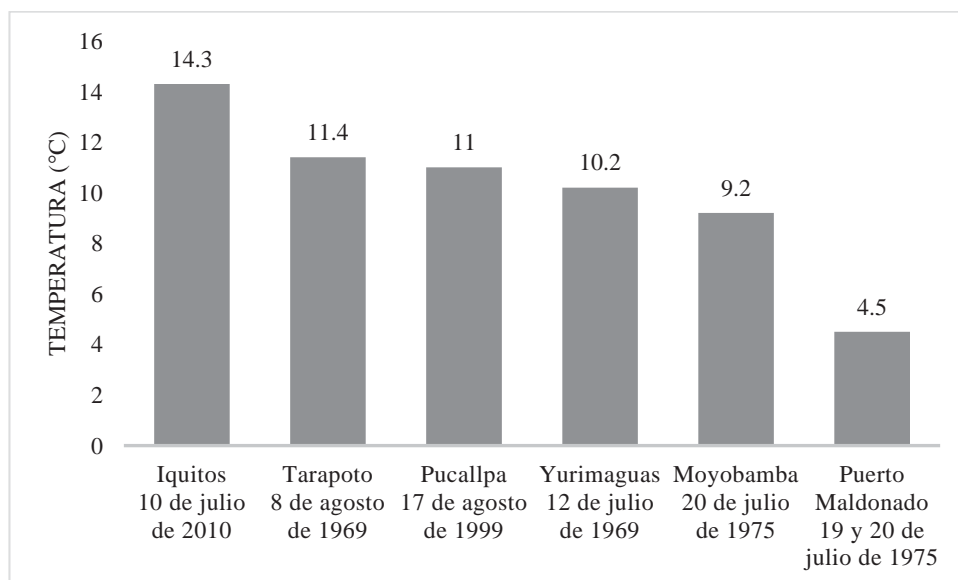


Figura 4. Registros de temperatura en la Selva Peruana. Fuente (SENAMHI, 2015a)

Así mismo Vergara y Espinoza (2015) reportaron la presencia de eventos hidrológicos extremos en parte de la región amazónica en los años 1998, 2005 y 2010 hubieron sequias; y en los años 1999, 2009 y 2012 se presentaron fuertes inundaciones.

Salas (2014) reporta resultados de su investigación “Análisis de tendencia de la temperatura y precipitación pluvial mensual en la cuenca del río Illpa, Puno”. El objetivo de este estudio fue analizar el comportamiento de los parámetros climáticos de precipitación y temperatura, el mismo que fue utilizando el test no paramétrico de Mann-Kendall. Los resultados mostraron incremento en la temperatura en la cuenca del río Illpa, con un valor de 0.48°C/década, sin embargo, la precipitación pluvial presentó una disminución donde el número de días lluviosos presentó un decremento de 7 días/década. Así mismo señala que clima está presentando modificaciones para la cuenca en estudio.

Bazo (2014) en el trabajo de investigación “Proyección climáticas sobre Perú y su relación con el fenómeno ENSO” observa que las tendencias climáticas afirman una reducción de la precipitación y la intensificación de la temperatura para cuencas específicas.

El SENAMHI (2009b) reporta resultados sobre los “Indicadores de cambio climático y proyecciones futuras en la cuenca del río Mantaro” y señalan que el Perú, está entre los 10 países más vulnerables a los riesgos climáticos a nivel mundial, debido a indicadores como la Población Económicamente Activa (PEA), siendo el 38.5% de la población que se dedican a las actividades agrícolas, siendo afectada por el clima; otro indicador es la pobreza donde el 53% de la población vive en condiciones de pobreza; también señalan que el Perú no cuenta con los suficientes recursos financieros. Reportan que el incremento de temperatura se dio del orden 0.01 a 0.02 °C, así como el aumento de días y noches cálidos, por otra parte, señalan que, la tendencia de las precipitaciones no fue uniforme para la cuenca del río Mantaro. Además, entre sus resultados señalan que el comportamiento de las lluvias es irregular desde los años 80.

Lavado, Silvestre y Pulache (2010) realizaron el estudio sobre las tendencias en los extremos de las lluvias y su relación frente a las inundaciones ocurridas en el año 2010 en el Cusco, sus resultados sugieren que los últimos eventos ocurridos sobre las intensidades de precipitación de la precipitación ya se habrían suscitado anteriormente entre los años 1964 y 2009 en el departamento de Cusco. El estudio tuvo como objetivo de evaluar los índices extremos de la precipitación con la finalidad de analizar la variabilidad climática en el departamento de Cusco. Analizaron registros de precipitación observada diaria de cinco estaciones meteorológicas (Granja Kcaira, Acomayo, Pisac, Urubamba y Sicuani) del periodo 1964 – 2009 y determinaron tendencias crecientes de la precipitación en los índices de intensidad R99 y RXI variando entre las estaciones cercanas (Acomayo, Granja Kcayra). Sin embargo, en la estación de Urubamba encontraron que el índice de lluvias del valor

histórico de 14 días paso a 24 días en el año 2010 lo que podría ser una manifestación del cambio climático. Así mismo señalan que las lluvias que se presentaron en el departamento del Cusco durante el año 2010 dejaron una pérdida de más de los 700 millones de soles.

Lavado *et al.* (2013) realizaron el análisis de tendencias en las precipitaciones y la temperatura en la cuenca amazónica peruana durante los últimos 40 años (1965 – 2007), sugieren que la hidroclimatología de la cuenca amazónica, que responde al 7% de la cuenca del Amazonas, todavía aún sigue siendo indocumentada o carece de los registros históricos. Analizaron los cambios temporales de la temperatura y precipitación durante 40 años que incluye en un total de 77 estaciones meteorológicas, por lo que concluyeron y encontraron una tendencia significativa en la temperatura media de 0.09 °C/década. En sus resultados encontraron que no hay tendencia ni cambio significativo en la lluvia durante el periodo 1965 – 2007 en la cuenca Amazónica Andes Peruana, pero esto sin embargo en las estaciones de verano y otoño la lluvia en el sur de los Andes presenta una importante variabilidad interanual.

Espinoza *et al.* (2009) analizaron la variabilidad de precipitación en la Cuenca Amazónica (Brasil, Perú, Bolivia, Colombia y Ecuador) para el periodo 1964 – 2003, basadas en 76 estaciones pluviométricas. En sus resultados determinaron que las lluvias están más diferenciadas en la parte Andina que en las tierras bajas, encontraron que la variabilidad de la precipitación tiene una disminución desde la década de 1980, así mismo indican que la variabilidad de la precipitación se relaciona con los cambios en la intensidad de lluvia en los Andes.

Acuña (2015) en su investigación encontró aumento significativo de la temperatura máxima de 0.11°C/ década para la selva, analizadas en 7 estaciones meteorológicas de un total de 17 estaciones. También encontró un aumento significativo de la temperatura mínima en la selva en 0.36°C/década. El aumento significativo de la temperatura mínima

corresponde para 12 estaciones meteorológicas de un total de 17 estaciones meteorológicas evaluadas, durante el periodo de 1971-2010. Por otra parte, encontró aumento de la precipitación de 7% de la variabilidad espacial durante en el periodo 1971-2010.

El SENAMHI (2009a) reportó datos que en el Perú “Las temperaturas máximas y mínimas se han incrementado en 0.2°C/década en casi todo el territorio”. De acuerdo al estudio sobre la variación en la temperatura máxima anual, para el año 2030 se tiene una variación de 0.4 °C y 0.4 °C en relación a la temperatura mínima y una variación de la precipitación al 2030 de 0 a 10%.

c. Regional

El GOREMAD (2014) en el documento estratégico “Estrategia Regional de Cambio Climático de la Región de Madre de Dios” manifiestan que el cambio en el clima y variabilidad climática en la región de Madre de Dios viene manifestando impactos perjudiciales en los sistemas naturales y humanos del territorio, los principales impactos del diagnóstico señalan la frecuencia y duración de la temporada seca que corresponde a los meses de septiembre, octubre y noviembre produciéndose el fenómeno de sequía, la cual coadyuva al incremento de fuegos (focos de calor) de origen antrópico generando situaciones de emergencia, dañando infraestructura, áreas agrícolas y bosques. Finalmente mencionan que los fenómenos hidrometeorológicos vienen repercutiendo sobre todo en los medios de vida, en el crecimiento y desarrollo económico en la región de Madre de Dios.

El SENAMHI (2018) reportó datos de descensos de temperatura diurna en la ciudad de Puerto Maldonado e Iñapari registrando días extremadamente fríos con 16°C (valores menores al percentil 1 de días extremadamente fríos) en los años 2017 y 2018. Así mismo el SENAMHI, señaló que estos datos representan un nuevo récord histórico en la

estación meteorológica de Puerto Maldonado, siendo un valor que no reportaba tan bajo en la serie histórica de los años 1981 – 2010.

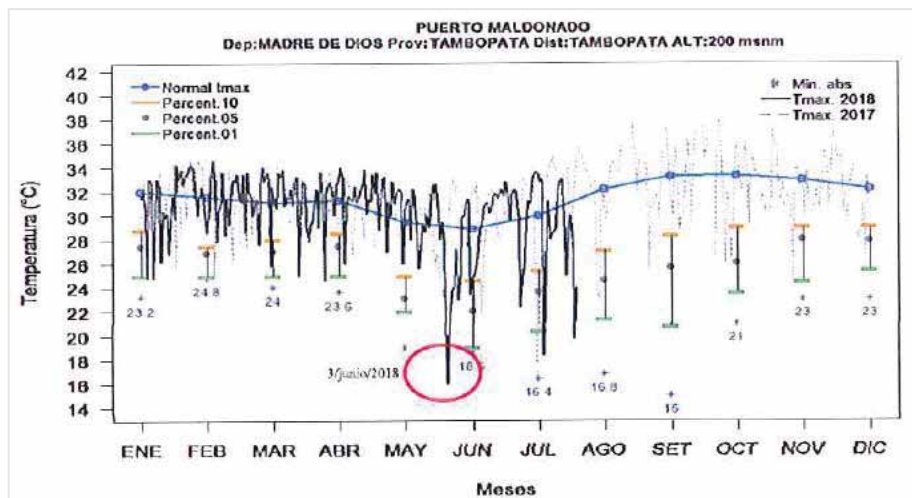


Figura 5. Monitoreo de la temperatura diurna para la estación Puerto Maldonado. Fuente (SENAMHI, 2018).

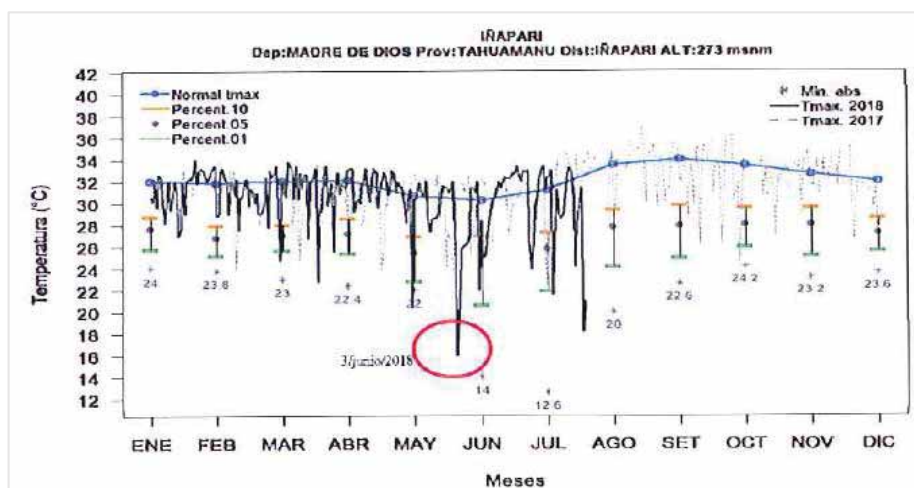


Figura 6. Monitoreo de la temperatura diurna para la estación de Iñapari. Fuente (SENAMHI, 2018).

Ramirez (2015) reporta resultados de su trabajo “Los saberes ancestrales sobre indicadores climáticos de hombres y mujeres indígenas amazónicos, indígenas pertenecientes al departamento de Madre de Dios”. Entre los resultados señalan que los indígenas amazónicos vienen sintiendo la manifestación del cambio climático en las actividades cotidianas de las comunidades nativas de Sonene y Bélgica ubicadas en el departamento de Madre de Dios, y estos mismos podrían ser afectados

por sus condiciones de marginalidad y vulnerabilidad, además por sus condiciones de vida. También señalan que las causas de un posible Cambio Climático en las comunidades nativas Madre de Dios se estarían dando por la tala indiscriminada de árboles, manejo inadecuado de los residuos sólidos, actividad minera y como consecuencias son las temporadas de la sequía, inundaciones y proliferación de enfermedades, escases de alimentos y degradación de suelos.

Así mismo el SENAMHI (2008) a través del proyecto de la Segunda Comunicación Nacional de Cambio Climático y empleando la regionalización dinámica ha determinado que la variación de la temperatura máxima anual al año 2030 será de hasta 0.40°C en el departamento de Madre de Dios, teniendo una base de los años 1983-2003. Mientras que la variación porcentual de la precipitación es de es 0 a 10 % para el año 2030.

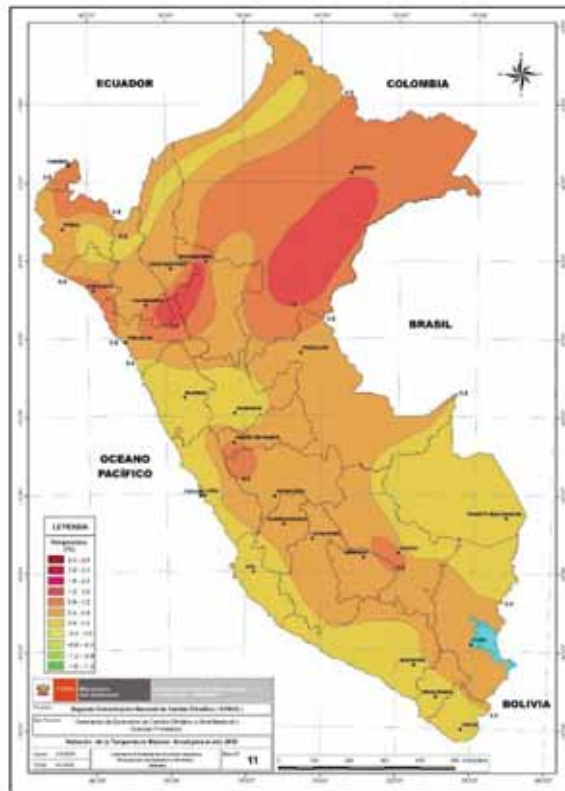


Figura 7. Variación de la temperatura máxima anual para el año 2030. **Fuente.** (SENAMHI, 2008)

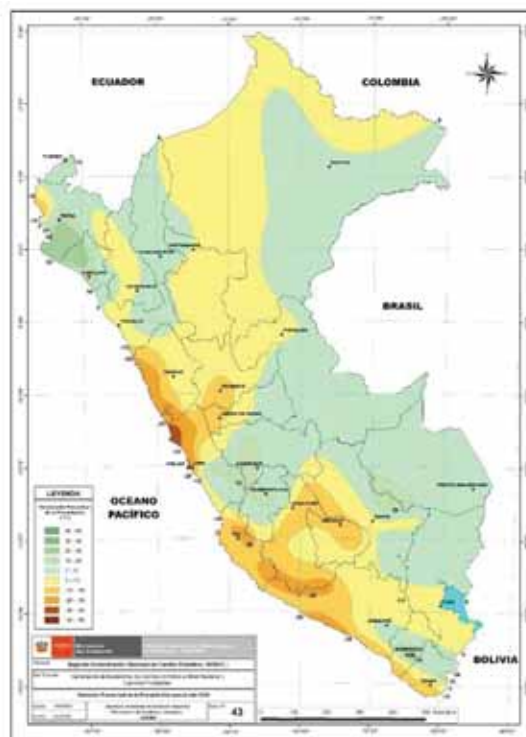


Figura 8. Variación porcentual de la precipitación para el año 2030. **Fuente.** (SENAMHI, 2008)

El SENAMHI (2015) reporta datos sobre los escenarios futuros en proyección de la precipitación a nivel anual para el año 2030 donde se menciona que la región de Madre de Dios, presentaría una disminución de la precipitación en casi toda la región de Madre de Dios en un -3%; en la provincia de Manu se presentará un aumento de precipitación en un rango de 3 – 6 %. En relación a la temperatura máxima reportan un aumento en la región de Madre de Dios, y presentando un aumento uniforme en las provincias de Tambopata y Tahuamanu de 1.55°C, siendo excepción de la provincia de Manu, donde el aumento es mayor con valores de hasta 1.66° C. Finalmente, para las proyecciones de la temperatura mínima en la región de Madre de Dios, indicaría un incremento de la temperatura mínima en toda la región de Madre de Dios, en valores uniformes de 1.35 °C a 1.55 °C.

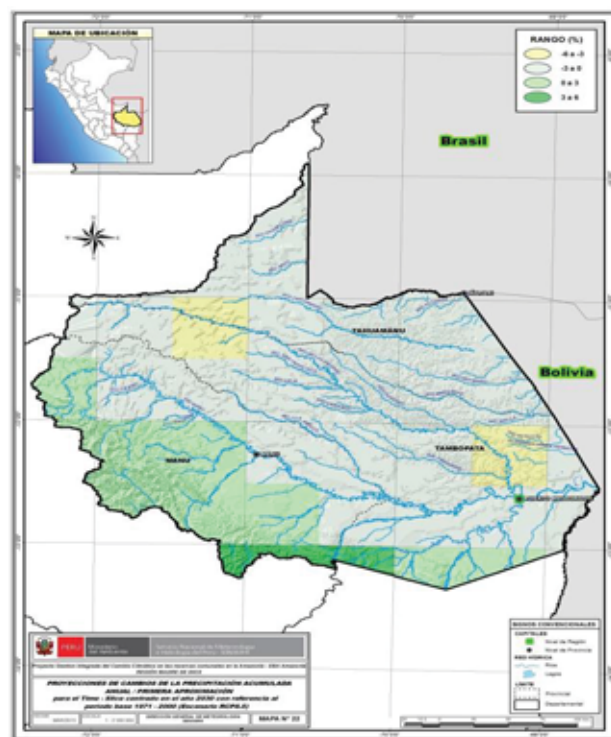


Figura 9. Distribución de la precipitación anual para la región de Madre de Dios.
Fuente: (SENAMHI, 2015b)

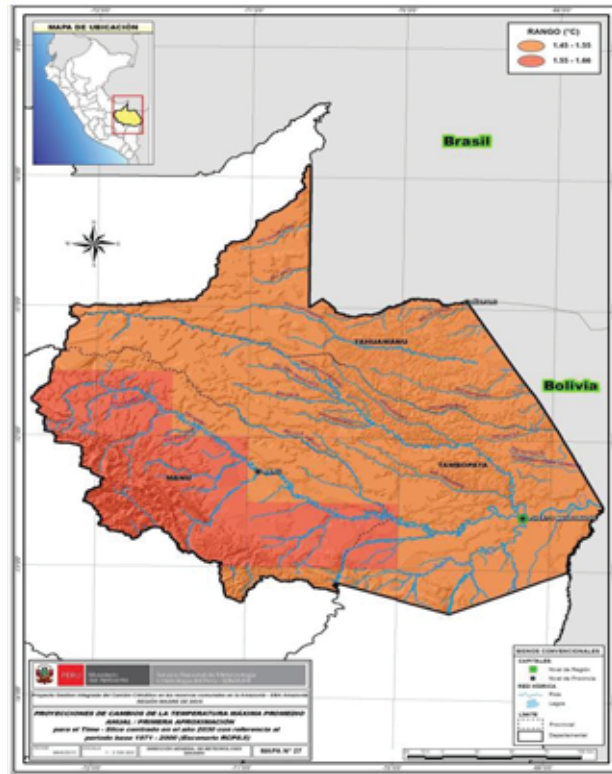


Figura 10. Distribución de la temperatura máxima anual para la región de Madre de Dios. **Fuente:** (SENAMHI, 2015b)

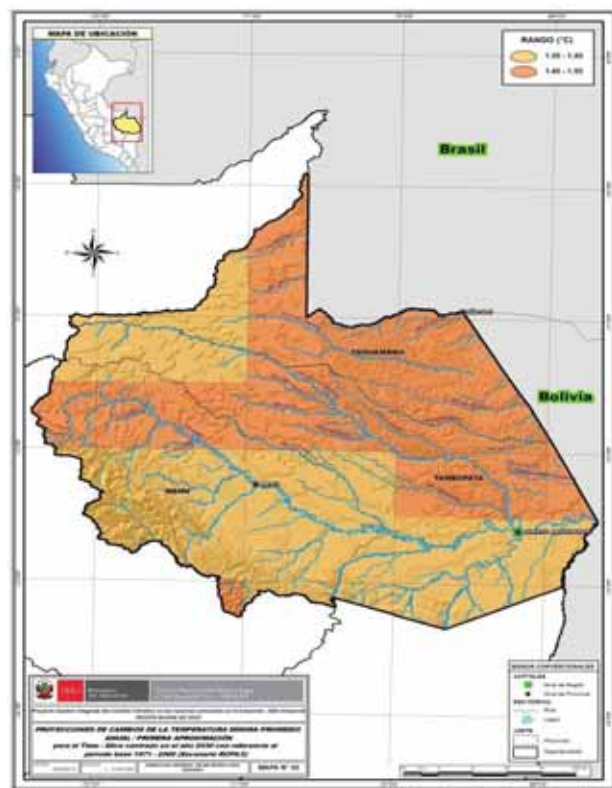


Figura 11. Distribución de la temperatura mínima para la región de Madre de Dios. **Fuente:** (SENAMHI, 2015b).

Layza, Gonzales y Teran (2018) realizaron el estudio “La deforestación y el cambio climático en la provincia de San Martín del periodo 1973 al 2014”. Sus resultados demostraron que la deforestación presenta una relación directa con la temperatura ($r^2=0.66$); también encontró que la humedad relativa y la precipitación presentaron una relación inversa de 68.71 % y 63.39%. Finalmente, el estudio concluye que la deforestación viene influyendo en el cambio del clima y que los agentes están relacionados a las actividades de ganadería, agricultura, agroindustria y las concesiones forestales maderables.

Valeriano (2018) reporta los resultados de su investigación de incursión de friajes. En sus resultados muestran una variación mensual climática de la temperatura mínima durante el periodo 1965 – 2008 que produjo un descenso continuo para la estación meteorológica de Puerto Maldonado con 17.1° C, siendo la más afectada en comparación con otras tres estaciones de la selva peruana (Pucallpa, Tarapoto e Iquitos). En el año 2013, entre los días 22 al 26 de junio se produjo un significativo descenso de la temperatura del aire, registrando una temperatura mínima de 9.5 °C en la Ciudad de Puerto Maldonado. Por su parte, señala que de acuerdo a los valores climáticos la incursión de los friajes en la selva peruana es más intenso en el mes de julio.

De la literatura revisada se concluye que en los últimos años se ha incrementado la temperatura mundial, regional y local en gran parte de la cuenca amazónica y estaría influenciado por el cambio de uso de suelo y la emisión de los GEI principalmente, siendo comprobado por las evidencias científicas. Por otro lado, en la precipitación se concluye que esta variable no presenta variabilidad en parte de la cuenca amazónica. Así mismo en Madre de Dios se vienen presentando parte de las manifestaciones del cambio climático.

Finalmente, con los resultados del presente trabajo se pueda elaborar las propuestas de adaptación y mitigación sobre el cambio climático en el departamento de Madre de Dios, como un instrumento de futuro.

III. HIPOTESIS Y VARIABLES

3.1. Hipótesis

Hipótesis general (H1)

Existe un incremento significativo de la temperatura promedio mensual y anual en la ciudad de Puerto Maldonado, mediante análisis de registros históricos y datos climatológicos modelados (PISCO) del SENAMHI (1970-2017).

Hipótesis específicas

Existe una disminución significativa de la precipitación mensual y anual en la ciudad de Puerto Maldonado, mediante análisis de registros históricos y datos climatológicos modelados (PISCO) del SENAMHI (1961-2017).

Existe una tendencia significativa en la serie climática de precipitación y temperatura en la serie mensual, anual y estacional, en la Ciudad de Puerto Maldonado, mediante registros históricos y datos climatológicos modelados (PISCO) del SENAMHI (durante el periodo de 1970 al 2017).

3.2. Identificación de variables e indicadores

Las variables de estudio son respecto al comportamiento y las tendencias de los elementos climatológicos de precipitación y temperatura en relación al año o periodo de estudio de lo cual fueron analizadas de la siguiente manera:

a. Variable dependiente

La variable dependiente está influenciada por el tiempo (años), con la finalidad de establecer esta relación, se consideraron las siguientes variables dependientes:

- Precipitación
- Temperatura media, temperatura máxima y temperatura mínima.

b. Variables independientes

En la presente investigación la variable independiente se considera a los años, lo que hace referencia al registro histórico de la base de datos observados y modelados de los elementos climatológicos de precipitación y temperatura.

c. Indicadores

- Serie mensual y anual del elemento climatológico de precipitación observada y en la base datos climatológicos (PISCO) del SENAMHI.
- Serie mensual y anual del elemento climatológico de temperatura observada y en la base datos climatológicos (PISCO) del SENAMHI.
- Serie estacional del elemento climatológico de temperatura observada y en la base datos climatológicos (PISCO) del SENAMHI.

IV. METODOLOGIA.

4.1. Ámbito de estudio: localización política y geográfica

4.1.1. Localización política y geográfica

El departamento de Madre de Dios cuenta con una extensión de 85300.54 km². Madre de Dios, está ubicado en la Amazonia sur (selva baja), tiene como capital la ciudad de Puerto Maldonado. Madre de Dios, limita por el Sur con los departamentos de Puno; por el Oeste con Cusco; por el noroeste con el departamento de Ucayali y al Este con los países de Bolivia y Brasil. La vía de acceso es vía aérea y terrestre por la carretera Interoceánica Sur. El territorio de Madre de Dios, está conformado por las llanuras aluviales, dentro de la cordillera de los Andes y la llanura Amazónica, geográficamente es ubicado en la parte suroriental del Perú. La red hidrográfica está conformada por los ríos Madre de Dios y Tambopata. El departamento de Madre de Dios, cuenta con 3 provincias y 11 distritos. La provincia con mayor proporción territorial es Tambopata, mientras que la provincia con menor proporción territorial es Manu. En los últimos años en el departamento de Madre de Dios se han registrado mayor cantidad de la población.

La ciudad de Puerto Maldonado se localiza a una altitud de 201 ms.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.

El estudio análisis de las tendencias de los elementos climatológicos de temperatura y precipitación se desarrolló en la ciudad de Puerto Maldonado, cuya estación meteorológica también es denominada como estación Puerto Maldonado (Lat: 12°35'1" S.: Long 69°12'1" W) con una altitud de 200 ms.n.m.

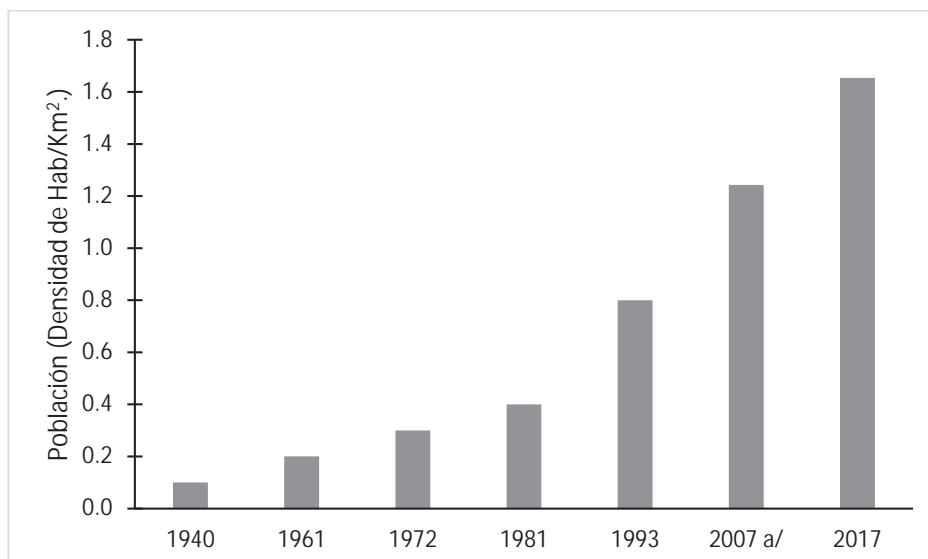


Figura 12. Evolución del número de habitantes del departamento de Madre de Dios, por años censales. **Fuente.** INEI. Población y vivienda (<https://bit.ly/1VnuWp6>).

De acuerdo a Caballero *et al.* (2018) la población de Madre de Dios se incrementó debido a la cimentación de la carretera interoceánica. Así mismo señala que la actividad minera ha sido un factor sobre la expansión de la densidad poblacional del departamento de Madre de Dios incrementando el dinamismo y el crecimiento urbano siendo la construcción de la carretera inter oceánica uno de los factores principales (Ver Figura 12).

La provincia con mayor cantidad de población es Tambopata, además se constituye como capital provincial. A nivel de distritos, Tambopata es el distrito con mayor población con menor población es el distrito de Laberinto. El de mayor densidad poblacional es Tambopata. La población que vive en la capital provincial de Tambopata se dedican a las actividades como son la pesca, madera, minería y el comercio siendo el PBI conformado por cuatro sectores que lo conforma el sector agrario, sector de industria, pesca y el sector de comercio y servicios (Abarca, Acuña, Pachas, y Silva, 2017).

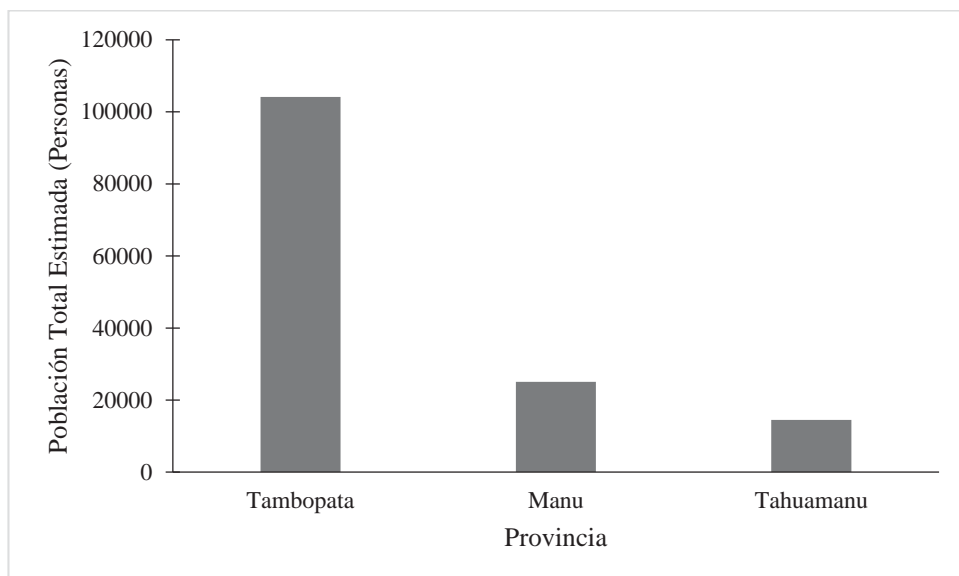


Figura 13. Población total estimada a nivel de provincias en el departamento de Madre de Dios (2017). **Fuente:** INEI (<https://bit.ly/2OgLnqR>)

Climatología

El departamento de Madre de Dios, presenta el clima de tipo tropical, caracterizado por ser cálido, húmedo. Así mismo presenta precipitaciones anuales superiores a 1000 mm, la temperatura promedio es de 17°C a 20° y como temperatura máxima de hasta 36°C durante los meses de diciembre a marzo. El clima del departamento de Madre de Dios tiende a presentar masas de aire frías, que estas llegan del sureste del continente americano, y esto origina las descenso de temperatura de hasta 8°C (Santos, 2017). Así mismo Santos (2017) también señala que los meses más húmedos en Madre de Dios son enero y abril.

Según el SENAMHI (2012) Madre de Dios presenta un clima cálido, húmedo y precipitaciones altas; las precipitaciones más importantes se registran durante el verano y se distingue claramente en dos categorías climáticas para todo el ámbito territorial B(r)A'H3 y A(r)A'H4. De la siguiente forma se describe las categorías climáticas:

B(r)A'H3: “Zona de clima cálido, lluvioso con precipitaciones abundantes en todas las estaciones del año, con humedad relativa calificada como húmeda” SENAMHI (2012).

- **A(r)A'H4.** “Zona de clima cálido, lluvioso, con lluvia deficiente en invierno, con humedad relativa calificada como húmeda” SENAMHI (2012).

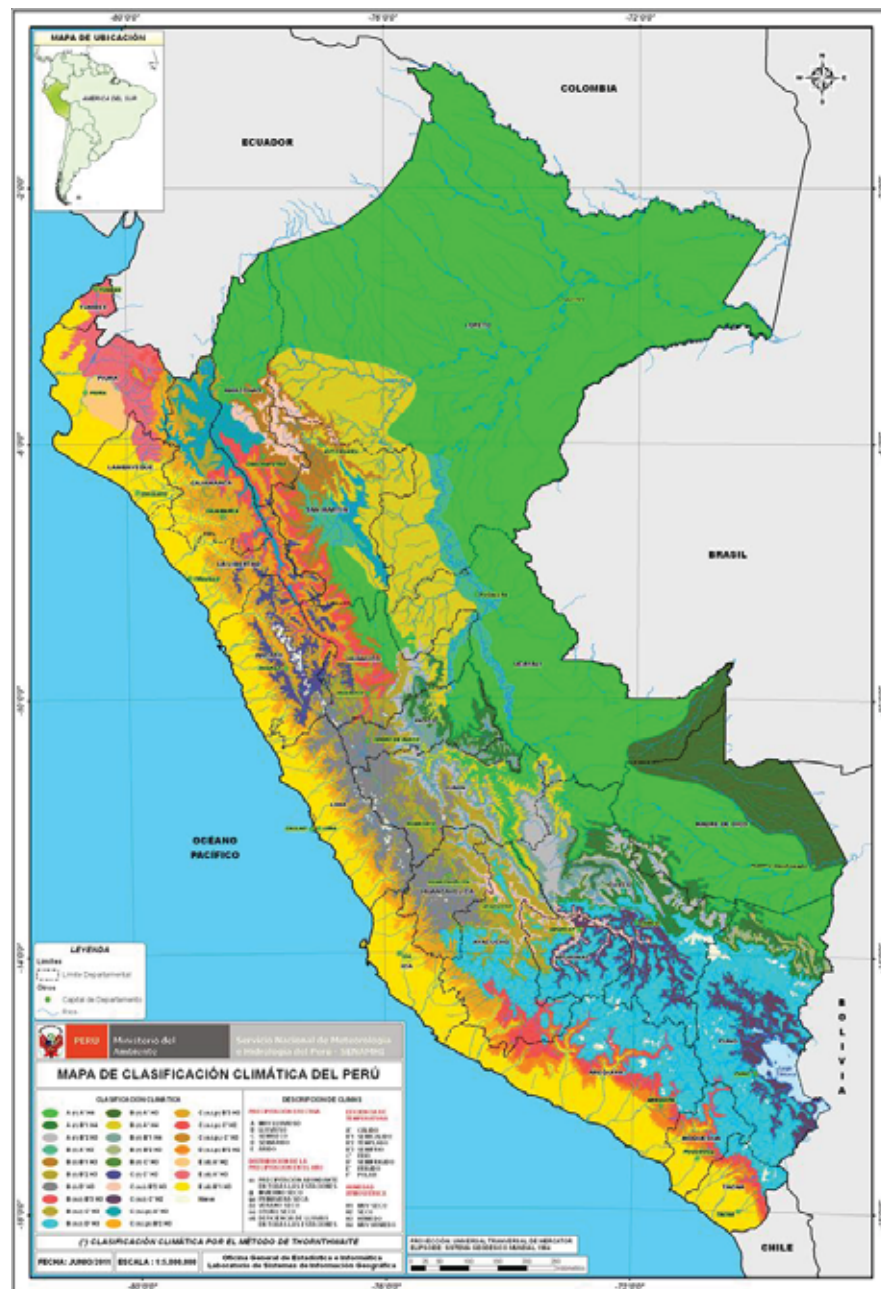


Figura 14. Mapa de clasificación climática del Perú. **Fuente:** SENAMHI (<https://bit.ly/2FyxDVS>)

4.1.2. Características principales de la estación meteorológica de Puerto Maldonado (Zonal 12).

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 desde el 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.

Tabla 1. Ubicación de la estación meteorológica – Puerto Maldonado.

Estación : Puerto Maldonado			
Departamento :	Madre de Dios	Latitud :	12° 35' 1"
Provincia :	Tambopata	Longitud :	69° 12' 1"
Distrito :	Tambopata	Altitud :	200 m.s.n.m

Fuente. SENAMHI - Dirección de Redes de Observación y Datos (<https://bit.ly/2JvEd3d>)



Figura 15. Ubicación de la estación meteorológica de Puerto Maldonado – SENAMHI.

4.2. Tipo y nivel de investigación

a. Tipo y nivel de investigación

Según el propósito de investigación, el planteamiento del problema y los objetivos planteados, el presente estudio es una investigación de tipo básica, nivel descriptivo. El diseño de investigación es no experimental con un diseño longitudinal de tendencia. Es longitudinal de tendencia porque analiza cambios a través del tiempo.

4.3. Unidad de análisis

La presente investigación se realizó con los elementos climatológicos de temperatura media, temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación mediante registros históricos y datos climatológicos modelados (PISCO) del SENAMHI.

a. Periodo de estudio

Para el análisis de los registros históricos y datos climatológicos modelados (PISCO) del SENAMHI se escogió el siguiente periodo de información meteorológica:

Tabla 2. Periodo de estudio

Información observada	Variable	Tipo	Periodo de estudio	Propietario
Puerto Maldonado	Precipitación	Convencional	1970 - 2017	SENAMHI
	Temperatura		1970 - 2017	
Información modelada	Variable	Tipo	Periodo de estudio	Propietario
PISCO	Precipitación	Modelada - grillada	1981 - 2016	SENAMHI
	Temperatura		1981 - 2015	

La base de datos climatológicos modelados de PISCO, presenta una resolución temporal desde el año 1981, que a partir de la fecha fue su primer producto.

4.4. Técnicas de selección de muestra

La selección de la muestra es cualitativa (no probabilística) es decir la elección de los elementos no depende de la probabilidad, si no de las causas relacionadas con las características de la investigación y según el propósito de la investigación. El procedimiento de la presente investigación ha dependido de la toma de decisiones y desde ya la muestra seleccionada obedeció a criterios del planteamiento del estudio.

Para poder alcanzar los objetivos en la presente investigación, fue necesario contar con una base de datos diaria consistida y lo más extensa posible en el tiempo. En la actualidad en el departamento de Madre de Dios, hay 8 estaciones meteorológicas pertenecientes al SENAMHI. Sin embargo, solo se consideró una de ellas (la estación Meteorológica de Puerto Maldonado) debido a esta que presenta el registro más extenso (desde 1958) de las variables climatológicas de temperatura y precipitación.

La información meteorológica diaria proveniente de la estación fue solicitada a través de formatos de solicitud al área de SENAMHI del área zonal 12 de Cusco (Apurímac, Cusco y Madre de Dios) y en la sede principal (Lima).

4.5. Técnicas de recolección de información

Se recopiló información meteorológica de los elementos climatológicos de temperatura media, temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación. Así mismo se recopiló datos climatológicos modelados (PISCO) elaborados por el SENAMHI. La recopilación de información meteorológica se realizó mediante la presentación de solicitud institucional.

4.5.1. Información observada de la estación meteorológica Puerto Maldonado - SENAMHI

a. Información observada de precipitación del SENAMHI

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.

b. Información observada de temperatura del SENAMHI

Para el análisis del comportamiento y las tendencias del elemento climatológico de temperatura se ha utilizado un registro histórico de temperatura media, máxima y mínima de la estación meteorológica de Puerto Maldonado. El periodo de registro utilizado fue 1970 – 2017.

4.5.2. Datos climatológicos modelados (PISCO)

En la presente investigación se utilizó los datos climatológicos modelados de temperatura y precipitación de la base de datos grillados de PISCO con una resolución de 0.05°~5km, el mismo que fue producida por el SENAMHI, cuya información está disponible en formato ráster. De acuerdo a Lavado *et al.*, (2014) el producto PISCO, es la composición (merging) de datos climatológicos observados de la red de estaciones meteorológicas de todo el Perú y datos estimados por satelitales del producto CHIRPS con datos mensuales.

La base de datos climatológicos modelados se ha obtenido desde la página Web del SENAMHI (<ftp://ftp.senamhi.gob.pe/>). De la siguiente forma describen los productos de PISCO – SENAMHI:

a. Base de datos climatológicos de precipitación (PISCO)

Los datos de precipitación utilizados la presente investigación corresponde a los datos PISCO – precipitación V2.0, el cual es un producto, que resulta de una combinación (“merging”) con datos observada de precipitación (SENAMHI) y datos climatológicos de precipitación de satélite (producto CHIRPS) (Aybar *et al.*, 2017). La información tiene registro a partir del año 1981 – 2016.

b. Base de datos climatológicos de temperatura (PISCO)

Los datos climatológicos de temperatura utilizados en este estudio corresponden a la base de datos climatológicos de PISCO – temperatura v1.0, este es un producto, que resulta de una regresión multivariante, que tiene como variable “explicada” a la temperatura mínima y máxima y como variables “explicativas” se utilizan a la latitud, longitud, elevación, entre otros. La información tiene registro para el año 1981 – 2015 (Huerta, Aybar, Lavado y Sabino 2017).

Los datos modelados de temperatura y precipitación de PISCO (formato raster) se extrajeron para Puerto Maldonado, utilizando los paquete “raster” y “ncdf4” de R en entorno de R-estudio (Pierce, 2017; R Core Team, 2016). (Ver Anexo). Se utilizó la metodología recomendada por (Aybar *et al.*, 2017) considerando ubicación exacta la estación meteorológica de Puerto Maldonado, mediante la introducción de las coordenadas geográficas.

4.6. Técnicas de análisis de la información.

4.6.1. Materiales

a. Datos

Se han utilizado registros históricos la estación meteorológica convencional correspondiente a la red de observaciones de Puerto Maldonado y datos climatológicos modelados (PISCO) del Servicio Nacional de Meteorológica e Hidrografía del Perú (SENAMHI). Los datos son de escala mensual de precipitación, temperatura media, temperatura máxima y temperatura mínima.

- ✓ Base de datos históricos de temperatura de la estación meteorológica de Puerto Maldonado (SENAMHI), de los últimos 47 años.
- ✓ Base de datos históricos de precipitación observada de la estación meteorológica de Puerto Maldonado (SENAMHI), de los últimos 47 años.
- ✓ Base de datos climatológicos de PISCO – temperatura de los últimos 34.
- ✓ Base de datos climatológicos de PISCO – precipitación de los últimos 35 años.

b. Programas y herramientas

En la presente investigación se utilizaron los siguientes programas lo que nos permitió analizar y encontrar los resultados, los que se emplearon son:

- ✓ Software R en entorno R-Studio (R Core Team, 2017)
- ✓ Paquete Trend, Non-Parametric Test and Change-Point Detection. Test no paramétrico de Mann-Kendal y Pettitt.
- ✓ Paquete de R ggplot2
- ✓ Paquete estadístico PAleontological STatistics (PAST versión 3.2) lo que permitió determinar la pendiente o tasa de cambio de la precipitación, temperatura media, máxima y mínima.
- ✓ ShinyApp BoxplotR de R: package version 0.5.0 (2013).
- ✓ Microsoft Excel, lo que permitió organizar la base de datos mensuales de los elementos climatológicos de temperatura y precipitación en formatos establecidos.
- ✓ ArcMap de ArcGis Desktop 10.5

c. Equipos

- ✓ Laptop personal
- ✓ Materiales de escritorio
- ✓ Usb

4.6.2. Metodología

Para cumplir con los objetivos planteados se siguió los siguientes pasos metodológicos:

a. Tratamiento 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.

b. Determinación de tendencias lineales de temperatura y precipitación

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 programa estadístico Past 3.21 (Hammer, 2018).

Para la temperatura el periodo de análisis considerado fue de 1970 – 2017, este periodo fue subdividido en (1) 1970 – 2017, (2) 1980 – 2017 (Tabla 3A). Para la precipitación abarcó desde 1970 – 2017, este periodo fue subdividido en (1) 1970 – 2017, (2) 1980 – 2017 (Tabla 3B). Estas subdivisiones se realizaron con la finalidad de observar cambios en la tendencia lineal en los últimos años según los periodos.

Tabla 3. Periodo de estudio para el análisis de tendencia lineal (regresión).

Información observada (A)	Variable	Serie	Tipo	Tendencia lineal	Longitud
Puerto Maldonado	Temperatura (Tm, Tmax, Tmin)	Mensual y anual	Convencional	1970- 2017	47
				1980- 2017	37
	Precipitación	Mensual y anual		1970- 2017	56
				1980- 2017	37
Información modelada (B)	Variable	Serie	Tipo	Tendencia lineal	Longitud
PISCO	Precipitación	Mensual y anual	Modelada - grillada	1981 - 2016	35
	Temperatura (Tm, Tmax, Tmin)	Mensual y anual		1981 - 2015	34

En cada pendiente estimada (mensual y anual) se estableció el nivel de significancia en 5% ($P\text{-value}<0.05$). De acuerdo a Acuña (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.

En el presente estudio las tendencias lineales de las temperaturas media, máxima y mínima se expresaron en °C/año. El cálculo del incremento total resulta de multiplicar la pendiente por el número de años de longitud (récord histórico) de la serie climática de temperatura

Por otro lado, se realizó el análisis de las series temporales de precipitación y temperatura, que es una representación cronológica de los datos. La elaboración de los gráficos de dispersión fue útil para observar las tendencias de las variables de precipitación y temperatura. Las figuras se realizaron utilizando MS Excel 2016.

c. Determinación del comportamiento de temperatura y precipitación.

El análisis del comportamiento de los elementos climatológicos de temperatura y precipitación (observada y modelada) se realizó con la finalidad de obtener los diagramas climáticos de temperatura y precipitación, teniendo en consideración el periodo de evaluación.

Se utilizó ShinyApp BoxplotR de R, lo que permitió generar diagramas de caja (climograma) de forma personalizada para las series mensuales de precipitación y temperatura según los periodos evaluados.

d. Análisis estadístico de las tendencias de precipitación y temperatura

Se analizaron las tendencias anuales, mensuales y estacionales de los dos elementos climatológicos (Tabla 4). Se utilizó el test no paramétrico de Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975) para determinar si existe una tendencia significativa en los elementos meteorológicos. Los cambios de las series temporales se detectaron mediante el test de Pettitt (Pettitt, 1979). La significancia en la presente investigación es 5% de probabilidad de error ($P\text{-value} < 0.05$), por lo tanto, un ($P\text{-value} > 0.05$), indica la no existencia de una tendencia significativa.

En el análisis de la serie estacional se analizaron teniendo en cuenta una división mensual según las estaciones del año: primavera

(septiembre, octubre, noviembre); verano (diciembre, enero, febrero); otoño (marzo, abril, mayo) y el invierno (junio, julio, agosto) considerando lo propuesto por Lavado *et al.*, (2013); Marengo *et al.*, (2009); Pedron *et al.*, (2016) para regiones amazónicas.

El test de Mann-Kendall, es uno de los más utilizado en la detección de tendencias de variables climáticas (cambios en las temperaturas y precipitaciones) (Lavado *et al.*, 2013). Según Kundzewicz y Robson (2004) indican que el test de Pettitt es una de las pruebas muy completas para detectar e identificar los cambios en las series temporales. Así mismo se puede utilizar un gran número de pruebas para la detección de tendencias para series largas de registros de información meteorológica (Tabari, Marofi, y Ahmadi, 2011).

Para analizar las tendencias y el punto de cambio en las series climáticas, en la presente investigación se utilizó el paquete Trend (Pohlert, 2018) de R (R Core Team, 2016) en entorno de R-studio (Team, 2015).

Tabla 4. Periodo de estudio para el análisis de tendencia

Registros históricos	Variable	Serie	Tipo	Tendencia	Longitud
Estación Meteorológica Puerto Maldonado	Temperatura (Tm, Tmax, Tmin)	Mensual, anual y estacional	Convencional	1970 - 2017	47
	Precipitación	Mensual, anual y estacional		1970- 2017	47
Registros modelados	Variable		Tipo	Tendencia	Longitud
Datos climatológicos PISCO	Precipitación	Mensual, anual y estacional	Modelada	1981 - 2016	35
	Temperatura (Tm, Tmax, Tmin)	Mensual, anual y estacional		1981 - 2015	34

Según Jaagus (2006) señala que unas de las ventajas del test de Mann-Kendal es que los datos no necesitan ajustarse a una

distribución y la otra ventaja es su baja sensibilidad a las interrupciones bruscas a la serie temporal homogénea. Por otra parte, Seoane (2015) señala que el test de Pettitt fue elaborada para poder encontrar el probable punto de cambio de las tendencias climáticas. El test de Pettitt no necesita la verificación de ninguna hipótesis y es un ajuste del test de Mann-Whitney, lo cual permite conocer el tiempo donde se hay cambios en las variables. Rodionov (2005) recomienda que, si tanto un cambio de paso y una tendencia son evidentes, la serie de datos debe ser primero que muestre una tendencia antes de la aplicación del test Pettitt.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Procesamiento y discusión de resultados

La Organización Mundial Meteorológica señala que para realizar un análisis, de buena calidad, sobre el comportamiento de la precipitación requiere de registros históricos de un promedio de 30 años (OMM, 2011). En el presente estudio se utilizaron series de temperatura y precipitación de los registros históricos y datos climatológicos modelados (PISCO) del SENAMHI.

En el primer objetivo se realizaron análisis de tendencias lineales de la temperatura y precipitación en la serie mensual y anual de temperatura y precipitación a partir de los registros históricos y datos modelados (PISCO) del SENAMHI. El método fue por regresión lineal. En el caso de las temperaturas el récord de la información considerara fue los periodos (1) 1970 – 2017, (2) 1980 – 2017. Para la precipitación fueron (1) 1970 – 2017, (2) 1980 – 2017. Estas subdivisiones se realizaron con la finalidad de observar cambios en la tendencia lineal en los últimos años.

En el caso del segundo objetivo se han calculado las tendencias de la temperatura y precipitación en la serie anual, mensual y estacional de temperatura y precipitación a partir de los registros históricos y datos modelados (PISCO) del SENAMHI. Se utilizó el test no paramétrico de Mann-Kendall para detectar las tendencias y el test de Pettitt que sirvió para identificar la presencia de un punto de cambio en una serie temporal de temperatura y precipitación.

5.2. Comportamiento medio anual, mensual de los elementos climatológicos de temperatura y precipitación en la ciudad de Puerto Maldonado.

5.2.1. Análisis de la tendencia lineal mediante registros históricos del SENAMHI.

a. 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 5A y Figura 16A) en 2.40°C . Los meses con mayor incremento fueron agosto ($+3.38^{\circ}\text{C}$), junio ($+3.14^{\circ}\text{C}$) y setiembre ($+2.71^{\circ}\text{C}$) 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 , y en todos los meses del año, siendo el mes de junio el que presentó un mayor incremento de la temperatura media anual ($+4.40^{\circ}\text{C}$), así mismo en mes de febrero presentó menor incremento de la temperatura media (Tabla 5C y Figura 16C).

Resultados similares con el incremento de la temperatura media situados en la cuenca amazónica fueron encontrados por Lavado *et al.* (2013), estos autores encontraron un incremento significativo de la temperatura media ($0.09^{\circ}\text{C}/\text{década}$) durante el periodo 1965 – 2007, analizando entre 22 a 48 estaciones meteorológicas. Según el estudio de Malhi y Wright (2004), desde mediados de la década de 1970 los bosques tropicales amazónicos han experimentado un fuerte calentamiento. La tasa promedio fue de $0.26 \pm 0.05^{\circ}\text{C}/\text{década}$ (Malhi y Wright, 2004), superior al reportado en el presente estudio ($0.18^{\circ}\text{C}/\text{década}$).

Tabla 5. 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
Δ Tm (°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
r²	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-value	0.004	0.000	0.000	0.000	0.002	0.001	0.004	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000

(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
Δ Tm (°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
r²	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-value	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

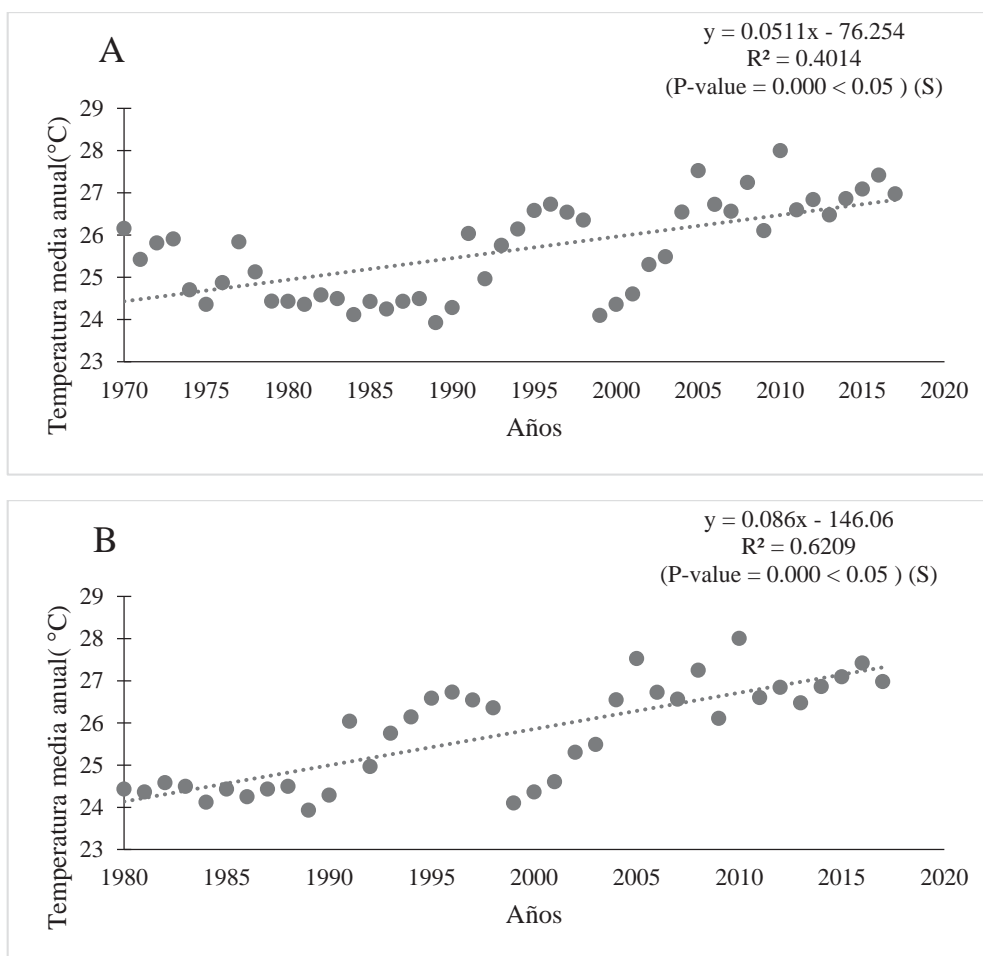


Figura 16. Tendencia lineal de la temperatura media anual según periodos de evaluación. (A) 1970 – 2017, (B) 1980 – 2017

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.

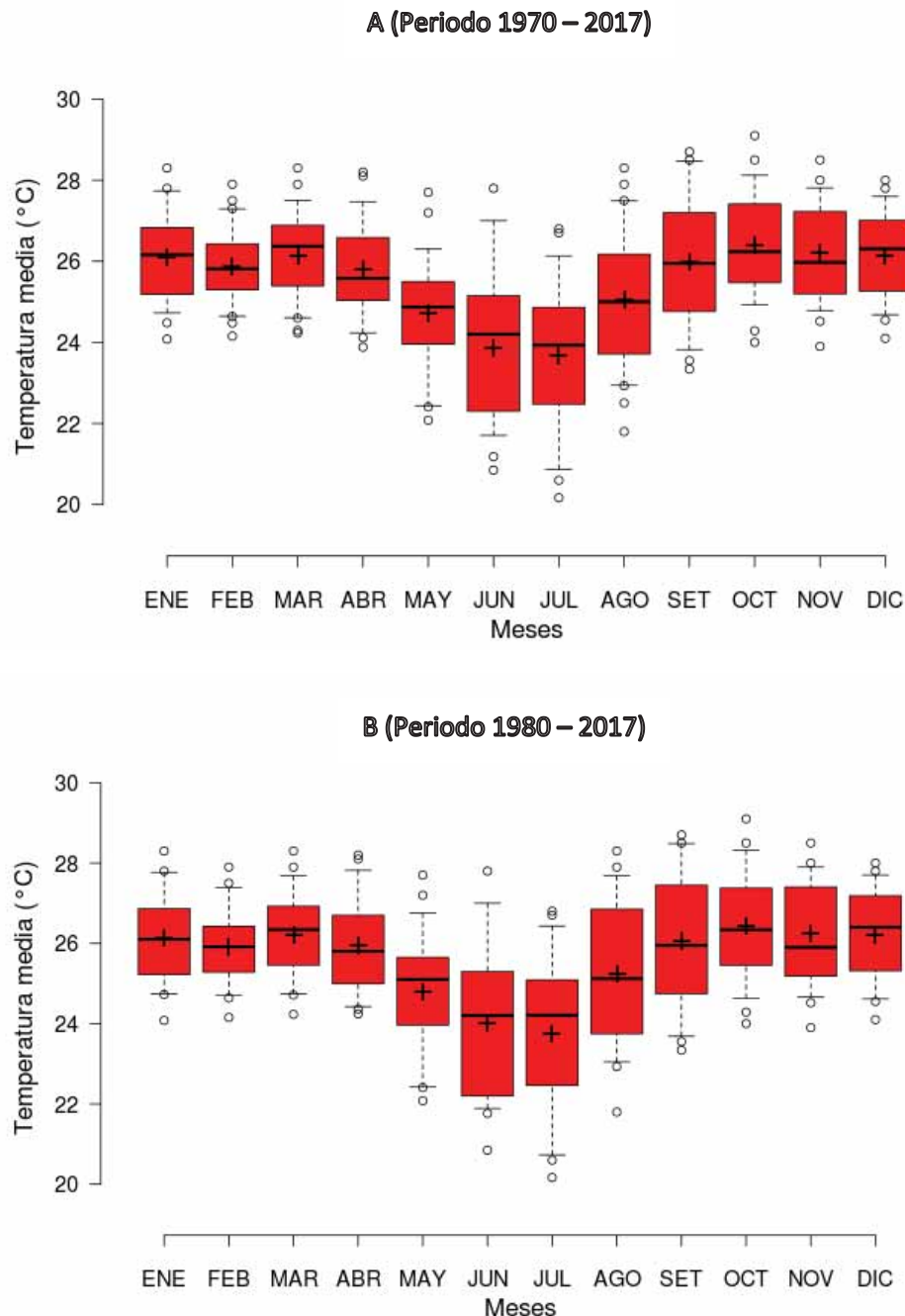


Figura 17. Temperatura media mensual, según periodos evaluados. (A) 1970 – 2017, (B) 1980 – 2017. Rojo = incremento significativo. Gris = NS. Las líneas centrales muestran las medianas; los límites de los recuadros indican los percentiles 25 y 75 según lo determinado por el software R; los bigotes se extienden a los percentiles 5 y 95, los valores atípicos están representados por puntos; Las cruces representan medias muestrales.

En la ciudad de Puerto Maldonado, 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.

Tabla 6. Estadísticos de la temperatura media 1970 – 2017

Variable	Temperatura media °C (1970-2017)
Media	23.95
Desviación estándar	1.10
Mínimo	23.45
Máximo	28.00

b. 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 incremento de la temperatura media (Tabla 7A y Figura 18A).

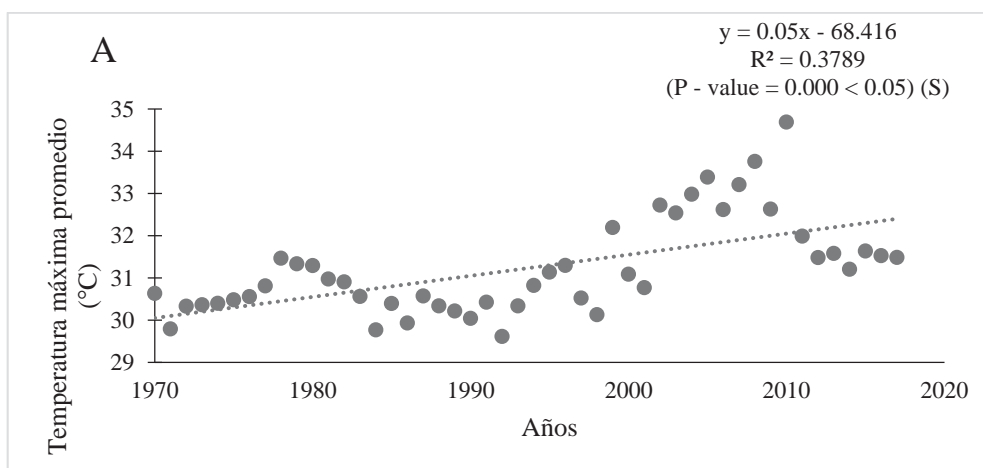
La temperatura máxima promedio anual para el periodo 1980 – 2017 presentó un incremento estadísticamente significativo ($P\text{-value} < 0.05$) de 2.46°C. También se observó que todos los meses del año presentaron incremento significativo en la temperatura máxima ($P\text{-value} < 0.05$), siendo el 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 7B y Figura 18B).

El incremento de la temperatura máxima también fue reportado para la selva por Acuña (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 7. 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
Δ Tmx (°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
r2	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
P-value	0.001	0.002	0.001	0.000	0.005	0.006	0.005	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000

(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
Δ Tmx (°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
r2	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
P-value	0.006	0.015	0.002	0.000	0.041	0.023	0.012	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000



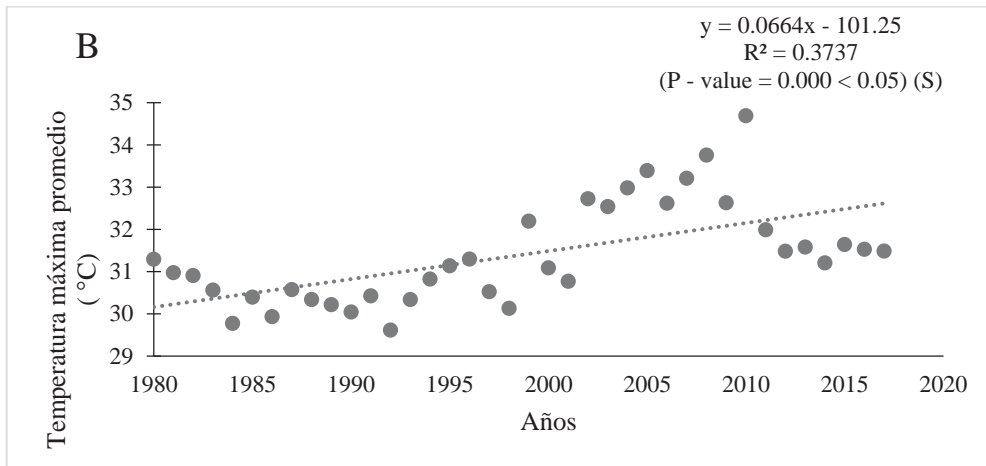
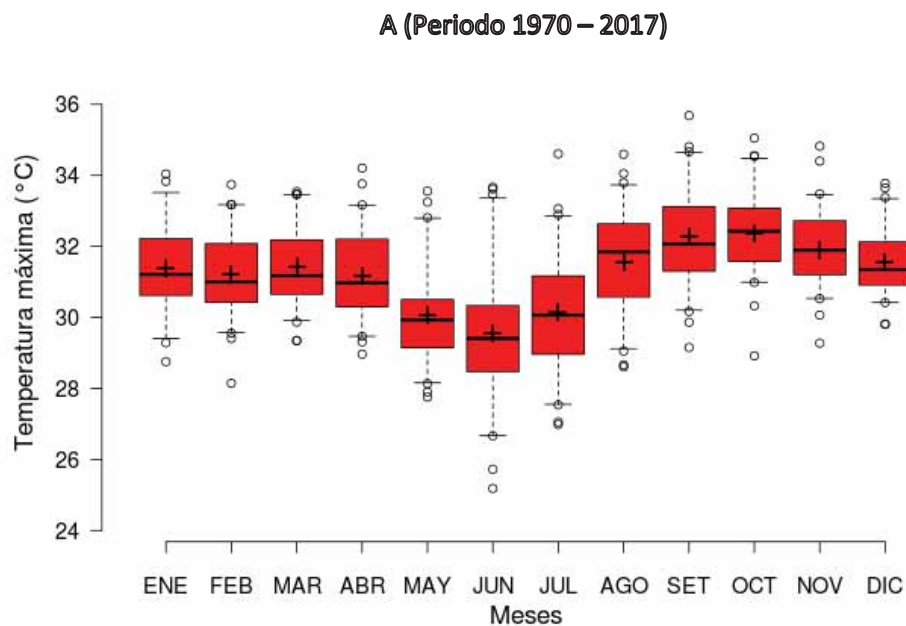


Figura 18. Tendencia lineal de la temperatura máxima promedio según periodos de evaluación. (A) 1970 – 2017, (B) 1980 – 2017.

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).



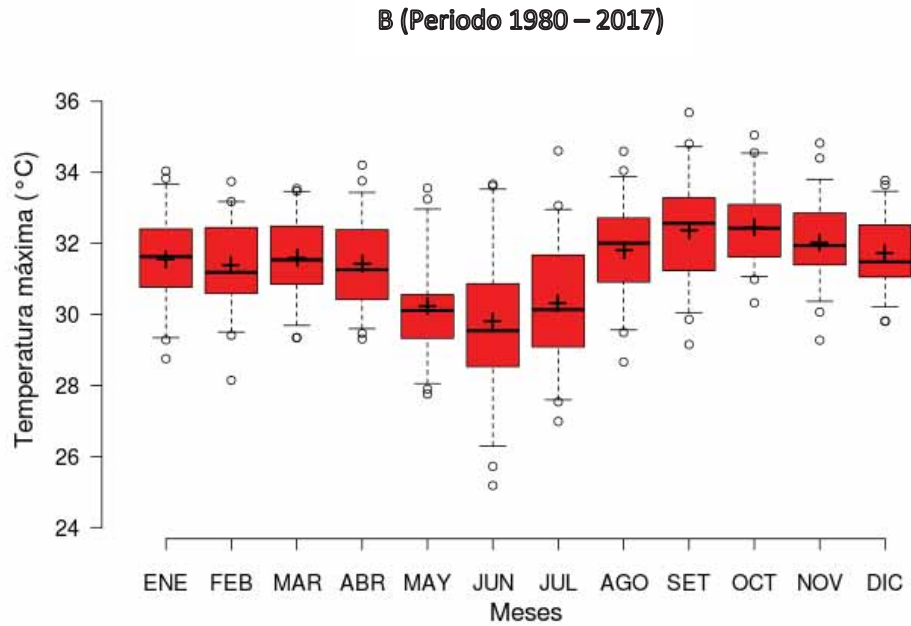


Figura 19. Temperatura máxima mensual según periodos evaluados. (A) 1970 – 2017, (B) 1980 – 2017. Rojo = incremento significativo. Gris = NS. Las líneas centrales muestran las medianas; los límites de los recuadros indican los percentiles 25 y 75 según lo determinado por el software R; los bigotes se extienden a los percentiles 5 y 95, los valores atípicos están representados por puntos; Las cruces representan medias muestrales.

En la ciudad de Puerto Maldonado, según el registro histórico para el periodo 1970 – 2017 la temperatura máxima anual registro 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.

Tabla 8. Estadísticos de la temperatura máxima 1970 – 2017.

Variable	Temperatura máxima °C (1970-2017)
Media	31.22
Desviación estándar	1.13
Mínimo	29.61
Máximo	34.68

c. 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 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 9A y Figura 20A).

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 9C y Figura 20C)

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) y Acuña (2015) para el periodo 1971 – 2010.

Tabla 9. 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
Δ Tm (°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
r2	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	0.039	0.001	0.003	0.001	0.001	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
Δ Tm (°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
r2	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	0.019	0.010	0.004	0.002	0.256	0.267	0.916	0.246

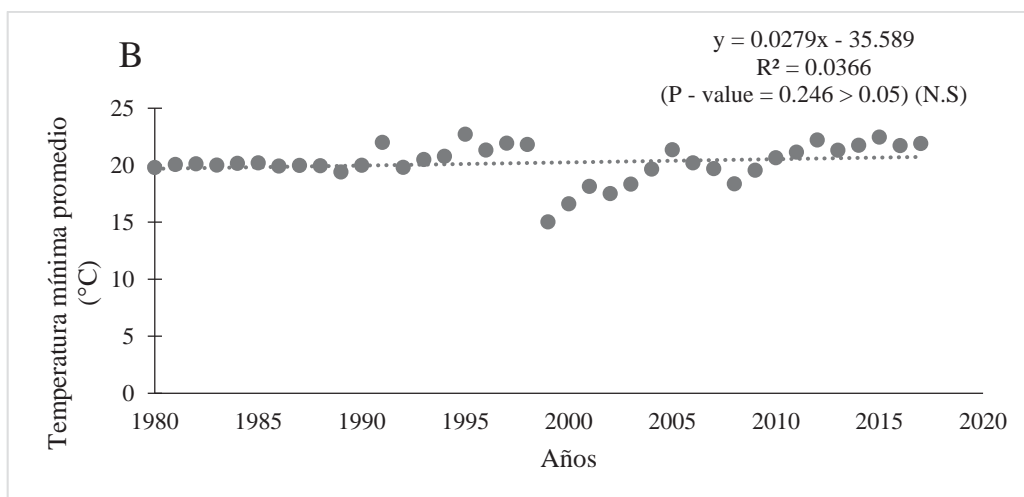
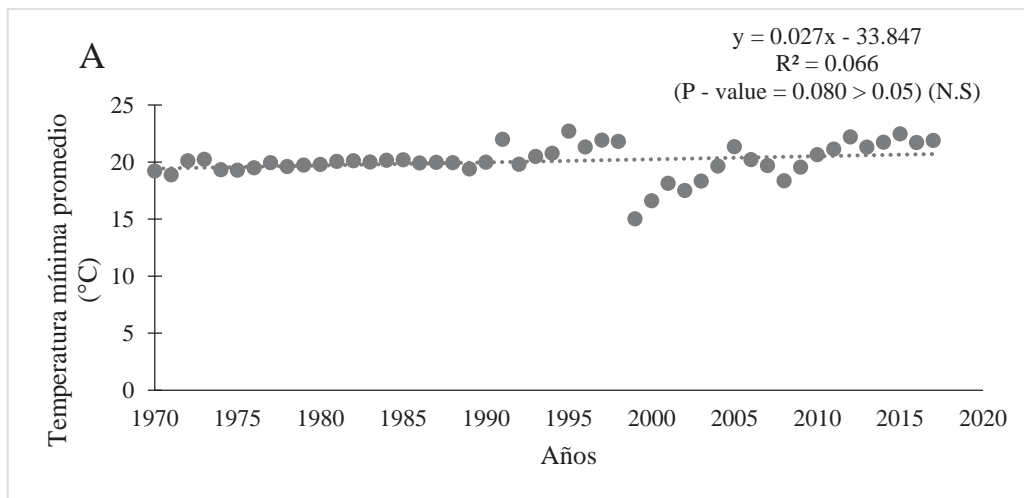


Figura 20. Tendencia lineal de la temperatura mínima promedio según periodos evaluados. (A) 1970 – 2017, (B) 1980 – 2017.

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).

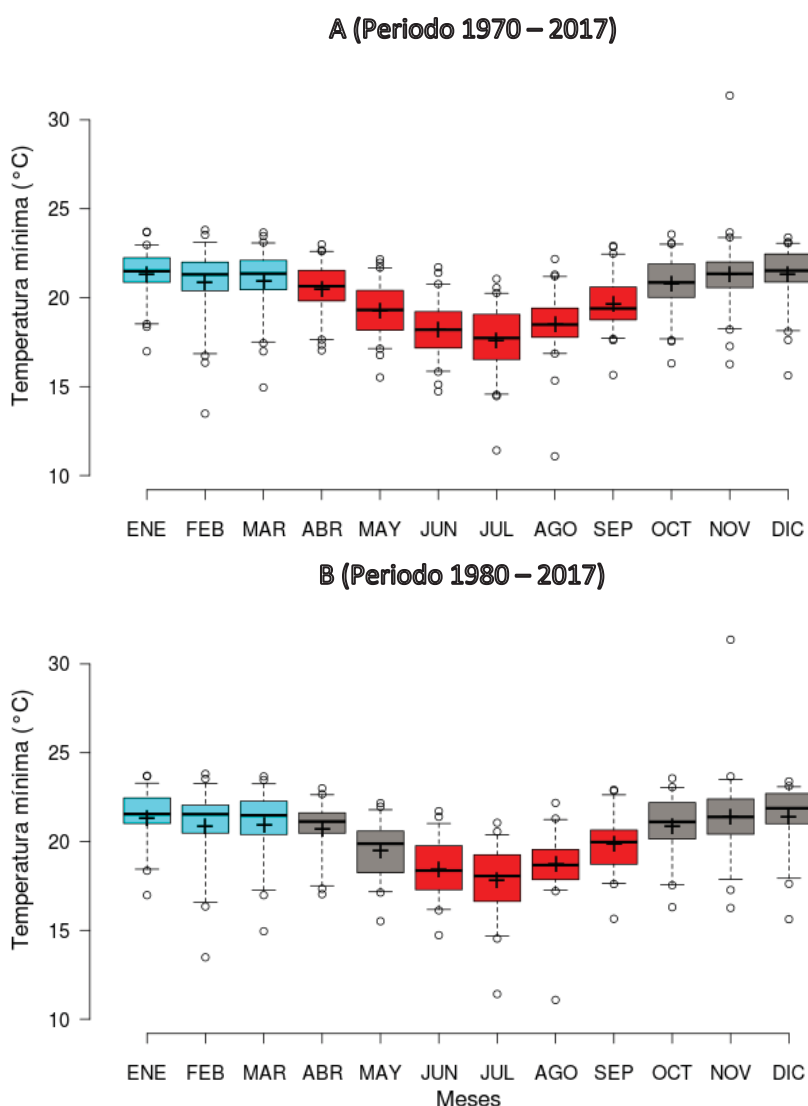


Figura 21. Temperatura mínima promedio según periodos evaluados. (A) 1970 – 2017, (B) 1980 – 2017. Rojo = incremento significativo. Gris = NS. Turquesa = disminución NS. Las líneas centrales muestran las medianas; los límites de los recuadros indican los percentiles 25 y 75 según lo determinado por el software R; los bigotes se extienden a los percentiles 5 y 95, los valores atípicos están representados por puntos; Las cruces representan medias muestrales.

En la ciudad de Puerto Maldonado, según el registro histórico para el periodo 1970 – 2017 la temperatura mínima anual registro 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.

Tabla 10. Estadísticos de la temperatura mínima 1970 – 2017.

Variable	Temperatura mínima °C (1970-2017)
Media	20.18
Desviación estándar	1.60
Mínimo	15.01
Máximo	22.7

d. Precipitación

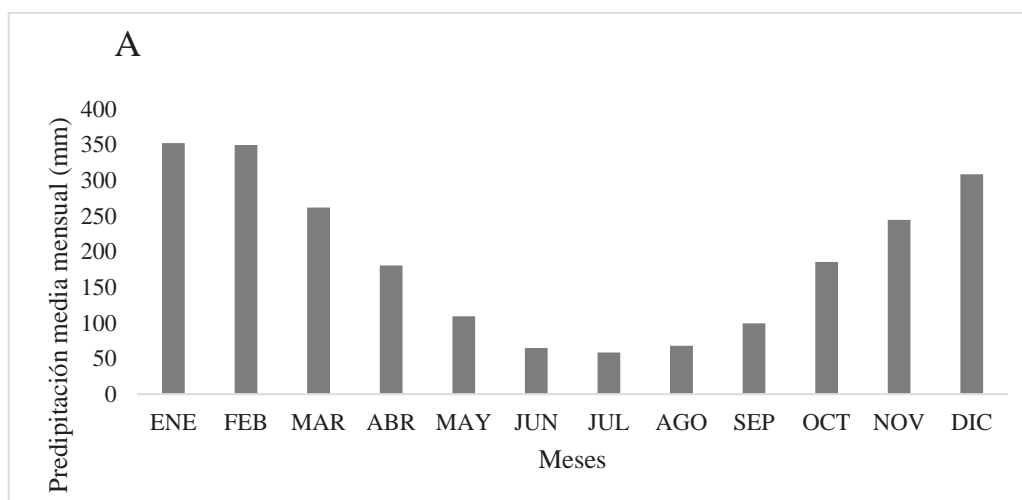
El periodo de estudio 1970 – 2017, la precipitación total anual y mensual registró una disminución (-118.26 mm) no significativa a lo largo del periodo de estudio ($P\text{-value} > 0.05$). Por otra parte, se observa una disminución de la precipitación en ocho meses del año. En el mes de mayo y diciembre se registró un incremento de precipitación, aunque éstas no fueron estadísticamente significativas (Tabla 11B y Figura 22B).

Espinoza *et al.* (2010) reportan que 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 la precipitación siendo estadísticamente significativo en (-107.48 mm) ($P\text{-value} < 0.05$). Asimismo, el mes que presento 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 ($P\text{-value} > 0.05$).

Tabla 11. 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
ΔPp (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
r²	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
ΔPp (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	0.048	0.189	0.465	0.128



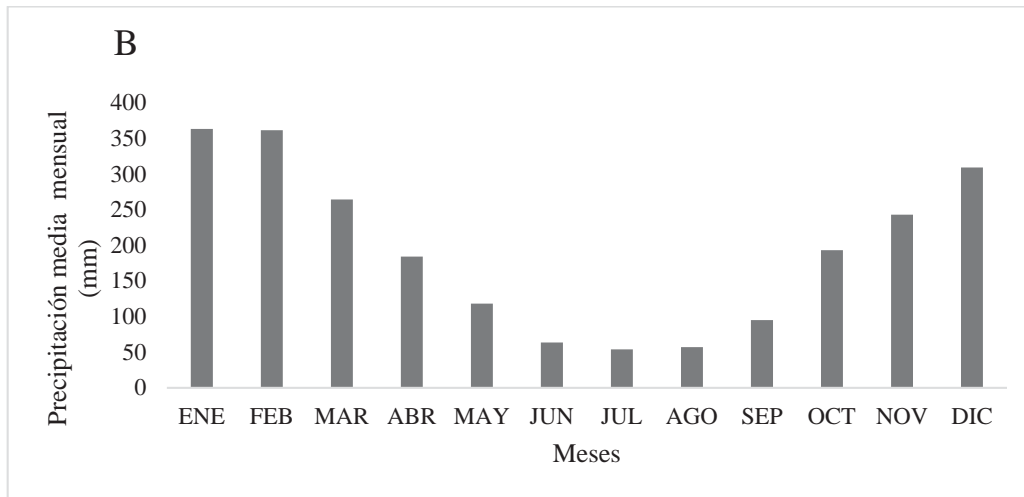


Figura 22. Precipitación promedio mensual según periodos evaluados. (A)1970 – 2017, (B) 1980 – 2017.

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 presento menor cantidad de precipitación.

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 periodos 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 bajos, 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.

En la ciudad de Puerto Maldonado, según el registro histórico para el periodo 1970 – 2017 la precipitación anual registro 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 mm.

Tabla 12. Estadísticos de precipitación 1970 – 2017.

Variable	Precipitación mm (1970-2017)
Media	2193.94
Desviación estándar	455.74
Mínimo	1413
Máximo	3734

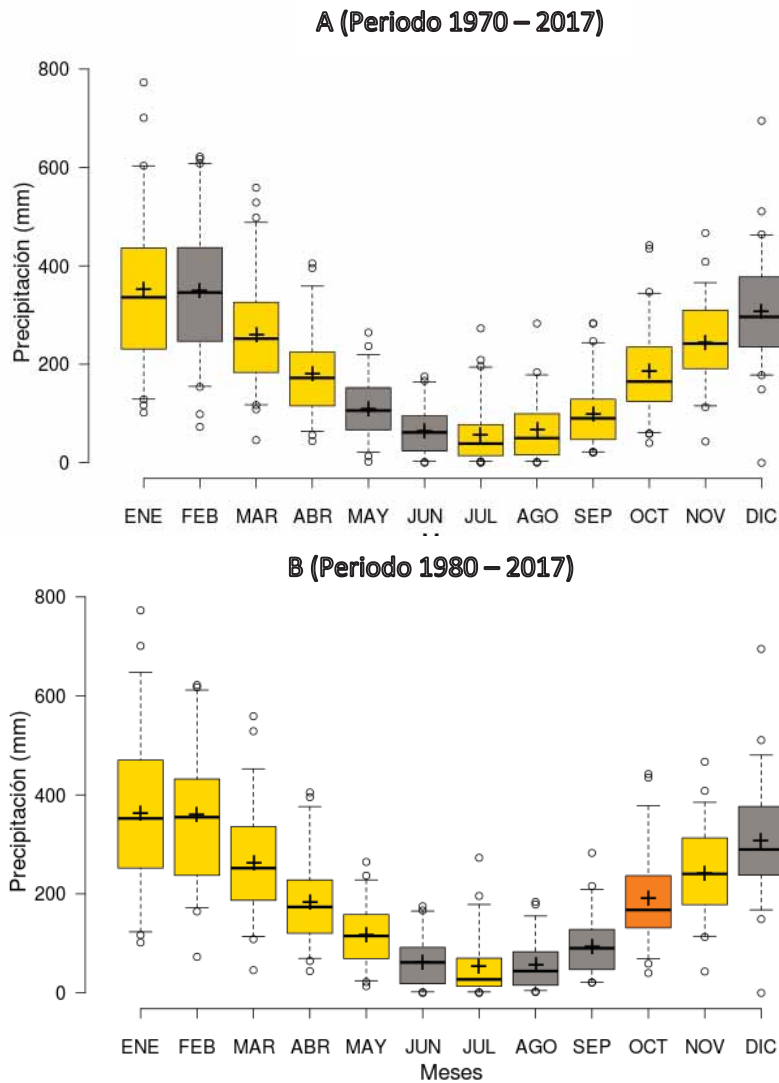


Figura 23. Precipitación promedio según periodos evaluados. (A) 1970 – 2017, (B) 1980 – 2017. Naranja = disminución significativa. Gris = NS. Crema = disminución NS. Las líneas centrales muestran las medianas; los límites de los recuadros indican los percentiles 25 y 75 según lo determinado por el software R; los bigotes se extienden a los percentiles 5 y 95, los valores atípicos están representados por puntos; Las cruces representan medias muestrales.

5.2.2. Análisis de la tendencia lineal mediante datos climatológicos modelados (PISCO).

a. Temperatura media

Considerando toda la serie histórica de la base de datos climatológicos modelados de PISCO (1981 - 2015), se encontró un incremento significativo de la temperatura media anual en 0.47°C ($P\text{-value} < 0.05$). Así mismo en los meses de setiembre (1.24°C), octubre (0.93°C), noviembre (0.84°C) y diciembre (0.89°C) se incrementó la temperatura significativamente ($P\text{-value} < 0.05$), siendo el mes de setiembre el que presentó mayor incremento. Por otra parte, se observó que en los meses de julio y agosto disminuyó la temperatura, sin embargo, estas no fueron estadísticamente significativas ($P\text{-value} > 0.05$) (Tabla 13A y Figura 24)

Estudios realizados en la Amazonia muestran incremento de la temperatura media anual para el periodo 1990 – 2010 (Gloor *et al.*, 2015); mediante el uso de datos climatológicos de satélite (CRUTS) de temperatura.

Tabla 13. Resultados del análisis de tendencia lineal (regresión) de la temperatura media anual y mensual (A) 1981-2015.

<u>(A)</u>	Temperatura media 1981-2015												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Pendiente	0.006	0.014	0.014	0.005	0.006	0.012	-0.005	0.000	0.036	0.027	0.025	0.026	0.014
ΔTm	0.194	0.487	0.462	0.175	0.214	0.397	-0.165	-0.016	1.238	0.926	0.842	0.890	0.470
r²	0.009	0.046	0.075	0.018	0.008	0.013	0.003	0.000	0.307	0.206	0.121	0.229	0.214
P-value	0.585	0.213	0.107	0.432	0.612	0.507	0.757	0.970	0.001	0.006	0.034	0.003	0.005

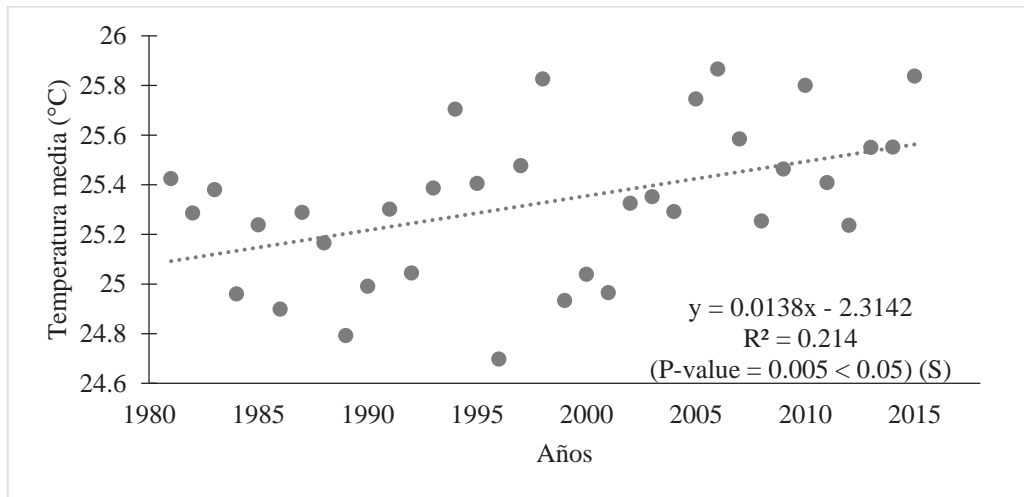


Figura 24. Tendencia de la temperatura media promedio según el periodo de evaluación (1981 - 2015)

El comportamiento de la temperatura media a partir la base de datos climatológicos modelados de PISCO durante el periodo de 1981 – 2015, presentó similar temperatura durante todos los meses del año, en 24 a 26.42°C. la temperatura media anual fue de 25.32°C. El valor máximo durante el periodo de 1981-2017, fue registrado en el 2006, en 25.86°C, mientras que el valor mínimo en 1996, es de 24.69°C. El test de tendencias, evidencia un incremento de la temperatura media durante los meses de septiembre, octubre, noviembre y diciembre; sin embargo, en los meses de julio y agosto disminuyo la temperatura.

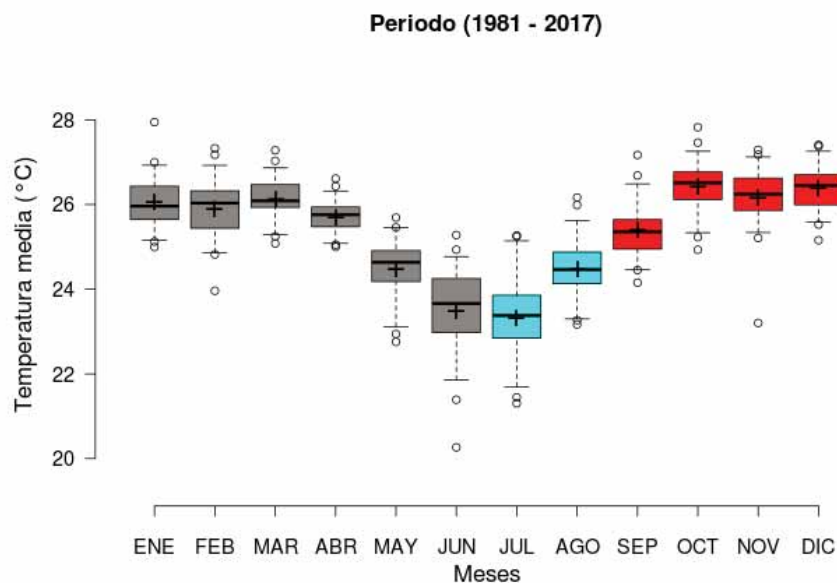


Figura 25. Temperatura máxima según el periodo evaluado 1981 – 2015. Rojo = incremento significativo. Turquesa = disminución no significativa. Gris = NS. Las líneas centrales muestran las medianas; los límites de los recuadros indican los percentiles 25 y 75 según lo determinado por el software R; los bigotes se extienden a los percentiles 5 y 95, los valores atípicos están representados por puntos; Las cruces representan medias muestrales.

En la ciudad de Puerto Maldonado, según el registro histórico de datos climatológicos modelados para el periodo 1981-2015 la temperatura media anual registro el valor mínimo de (24.70°C) en 1996 y el valor máximo en el año 2006, con 25.87 °C. La temperatura promedio anual registrada fue de 25.33 °C respectivamente.

Tabla 14. Estadísticos de temperatura media 1981 – 2015.

Variable	Temperatura media °C (1981-2015)
Media	25.33
Desviación estándar	0.31
Mínimo	24.70
Máximo	25.87

b. Temperatura máxima promedio

Para el periodo que comprende los años 1981–2015 se encontró un incremento estadísticamente significativo de 0.44°C ($P\text{-value} < 0.05$). Asimismo, sólo durante los meses de setiembre (+1.88°C) y diciembre (+1.39°C) se encontró un incremento estadísticamente significativo en la temperatura máxima promedio

(*P*-value < 0.05) siendo el mes de setiembre el de mayor incremento. Por otro lado, los meses de mayo (-0.20°C), junio (-0.43°C) y julio (-0.69°C) presentó temperaturas máximas más bajas y estadísticamente no fueron significativas (*P*-value > 0.05) (Tabla 15A y Figura 26).

Tabla 15. Resultados del análisis de la tendencia lineal (regresión) de la temperatura máxima anual y mensual (A) 1981-2015.

(A)	Temperatura máxima promedio 1981-2015												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Pendiente	0.005	0.011	0.019	0.001	-0.006	-0.013	-0.020	0.005	0.055	0.025	0.034	0.041	0.013
Δ Tmx	0.186	0.357	0.655	0.038	0.200	0.432	0.694	0.159	1.879	0.839	1.154	1.392	0.444
r2	0.004	0.010	0.064	0.000	0.005	0.009	0.032	0.002	0.316	0.086	0.064	0.230	0.109
P-value	0.727	0.580	0.142	0.906	0.700	0.603	0.299	0.773	0.001	0.087	0.142	0.003	0.050

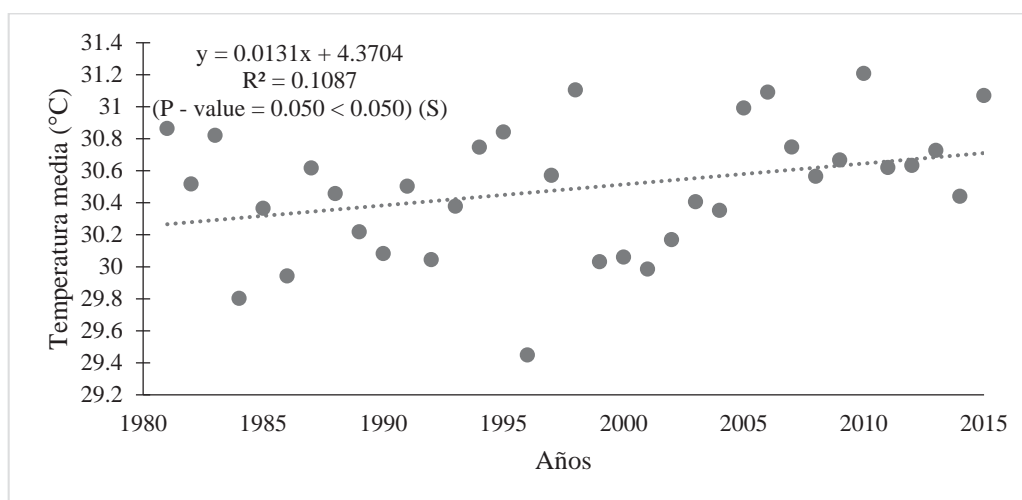


Figura 26. Tendencia lineal de la temperatura máxima promedio según el periodo de evaluación (1981 - 2015).

El comportamiento de la temperatura máxima a partir de datos climatológicos modelados de PISCO durante el periodo 1981 – 2015, presenta mayor temperatura en los meses de octubre y setiembre. La temperatura máxima promedio anual fue de 30.48°C. El valor máximo |durante el periodo de 1981-2015, fue registrado en el 2010 (sequia amazónica), en 31.20°C, mientras que el valor mínimo en 1996, es 29.44°C. El test de tendencia, evidencia una disminución de la temperatura durante los meses mayo y junio y por otra parte registro un incremento de la temperatura en los meses de setiembre y diciembre.

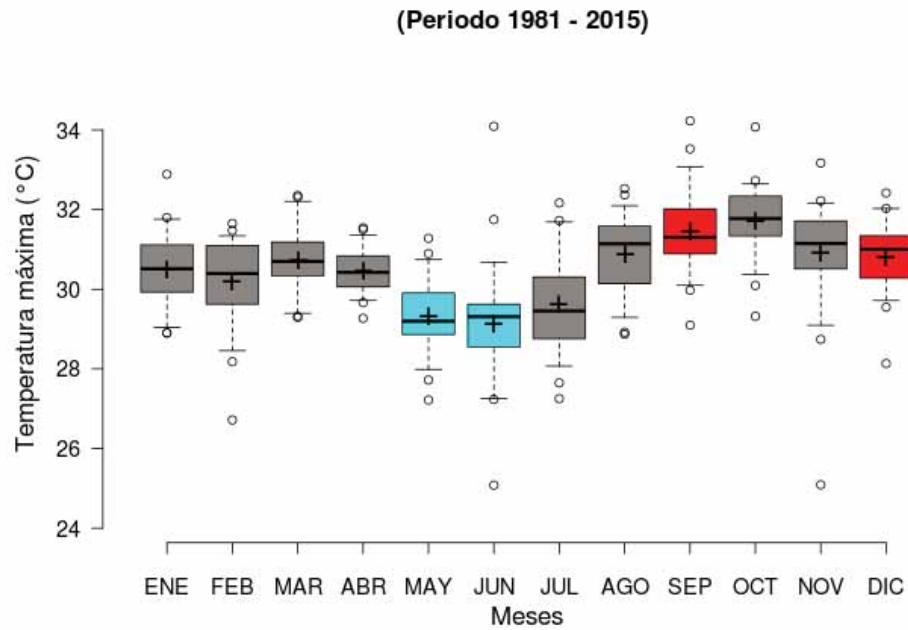


Figura 27. Temperatura máxima según el periodo evaluado 1981 – 2015. Rojo = incremento significativo. Turquesa = disminución no significativa. Gris = NS. Las líneas centrales muestran las medianas; los límites de los recuadros indican los percentiles 25 y 75 según lo determinado por el software R; los bigotes se extienden a los percentiles 5 y 95, los valores atípicos están representados por puntos; Las cruces representan medias muestrales.

En la ciudad de Puerto Maldonado, según el registro histórico de datos climatológicos modelados para el periodo 1981-2015 la temperatura máxima anual registró el valor mínimo de (29.45°C) en 1996 y el valor máximo en el año 2010, con 31.21 °C. La temperatura promedio anual registrada fue de 30.49 °C respectivamente.

Tabla 16. Estadísticos de temperatura máxima 1981 – 2015.

Variable	Temperatura máxima (1981-2015)
Media	30.49
Desviación estándar	0.41
Mínimo	29.45
Máximo	31.21

c. Temperatura mínima promedio

En el periodo de estudio 1981-2015 se encontró un incremento estadísticamente significativo de la temperatura mínima promedio anual de 0.49°C ($P\text{-value} < 0.05$). Por otra parte, en los meses de febrero (+0.62°C), junio (+1.23°C) y

octubre (+1.01°C) la temperatura mínima se incrementó de forma significativa (P -value < 0.05), siendo junio el mes con mayor incremento en la temperatura mínima. Además, se observa que la temperatura mínima disminuyó en el mes de agosto (-0.19°C), aunque no significativamente (P -value > 0.05) (Tabla 17A y Figura 28).

Tabla 17. Resultados del análisis de tendencia lineal (regresión) de la temperatura mínima anual y mensual (A) 1981-2015.

(A)	Temperatura mínima promedio 1981-2015												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Pendiente	0.006	0.018	0.008	0.009	0.018	0.036	0.011	-0.006	0.018	0.030	0.016	0.011	0.015
ΔT_m (°C)	0.203	0.616	0.268	0.312	0.629	1.227	0.364	-0.192	0.596	1.013	0.530	0.388	0.496
r²	0.018	0.127	0.021	0.034	0.042	0.117	0.010	0.006	0.074	0.192	0.100	0.082	0.251
p-value	0.449	0.031	0.409	0.287	0.233	0.045	0.565	0.656	0.114	0.008	0.060	0.103	0.002

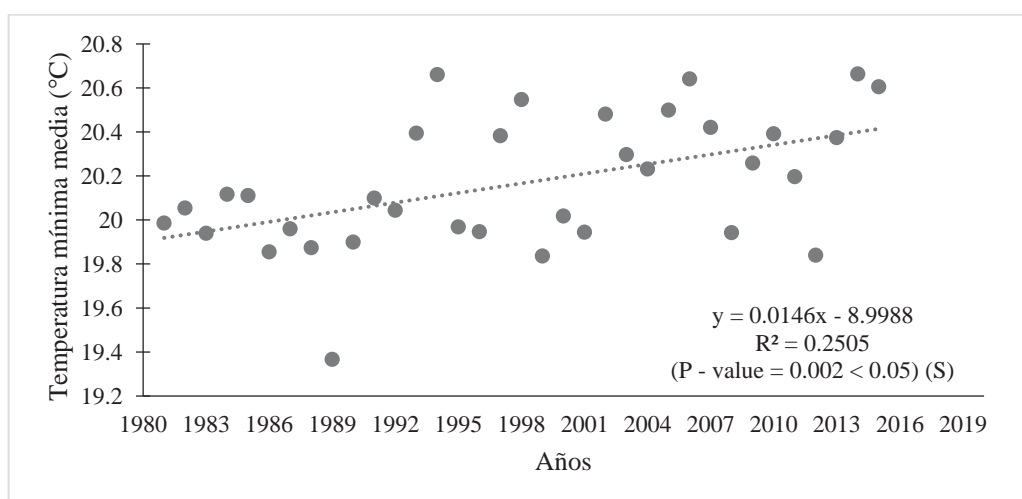


Figura 28. Tendencia lineal de la temperatura mínima promedio según el periodo de evaluación (1981 - 2015).

En cuanto al comportamiento de la temperatura mínima para 1981 – 2015, registró la temperatura más baja en el mes de julio 16.99°C. La temperatura mínima promedio anual fue de 20.16°C. El valor máximo durante 1981 – 2017, fue registrado en el 2014, en 20.66°C, mientras que el valor mínimo en 1989, es de 19.36°C. El test de tendencia, evidencia un incremento de la temperatura mínima durante los meses de febrero, julio y octubre; y que en el mes de agosto se observó la disminución de la temperatura mínima.

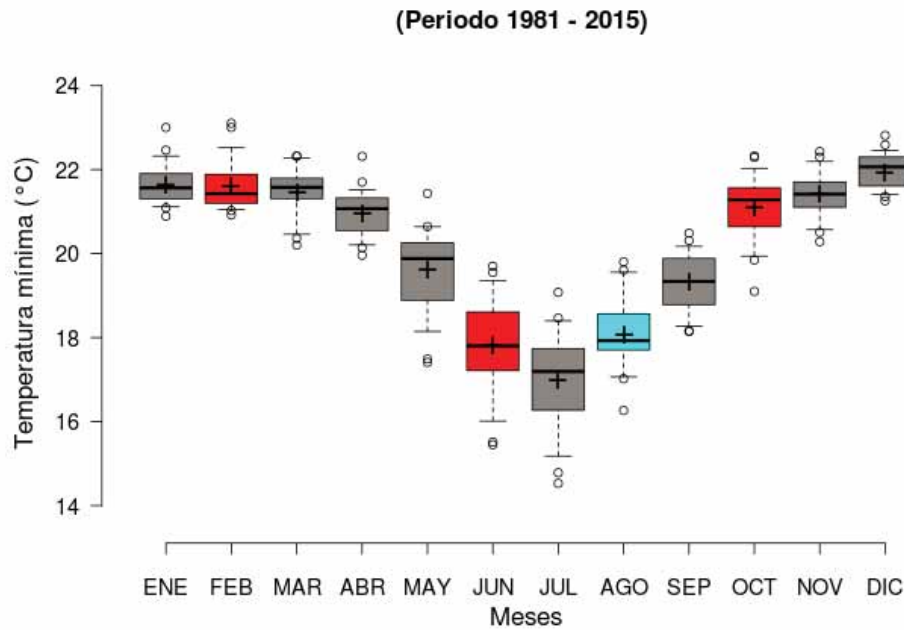


Figura 29. Temperatura mínima según el periodo evaluado 1981 – 2015. Rojo = incremento significativo. Turquesa = disminución no significativa. Gris = NS. Las líneas centrales muestran las medianas; los límites de los recuadros indican los percentiles 25 y 75 según lo determinado por el software R; los bigotes se extienden a los percentiles 5 y 95, los valores atípicos están representados por puntos; Las cruces representan medias muestrales.

En la ciudad de Puerto Maldonado, según el registro histórico de datos climatológicos modelados para el periodo 1981-2015 la temperatura mínima anual registró el valor mínimo de (19.37°C) en 1989 y el valor máximo en el año 2014, con 20.66 °C. La temperatura promedio anual registrada fue de 20.17 °C respectivamente.

Tabla 18. Estadísticos de temperatura mínima 1981 – 2015.

Variable	Temperatura mínima (1981-2015)
Media	20.17
Desviación estándar	0.30
Mínimo	19.37
Máximo	20.66

d. Precipitación

Para el periodo que comprende los años 1981 – 2016, no se encontró un incremento estadísticamente significativo en la precipitación anual (P -value > 0.05). Por otro lado, se observó que la precipitación de marzo disminuyó significativamente (P -value < 0.05) en -113.57 mm. Sin embargo, en los meses de mayo (23.17 mm) y octubre (69.32 mm) la precipitación se incrementó significativamente (P -value < 0.05), siendo el mes de octubre que presentó un mayor incremento. Asimismo, se observa que la precipitación disminuyó en los meses de junio, julio y diciembre, pero no significativamente (P -value > 0.05). Por otra parte, en abril se registró el menor incremento en precipitación (Tabla 19A y Figura 30).

Tabla 19. Resultados del análisis de la tendencia lineal (regresión) de la precipitación anual y mensual (A) 1981-2016.

(A)	Precipitación (mm) 1981-2016												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Pendiente	0.404	1.224	-3.245	0.145	0.662	-0.368	0.108	0.197	0.232	1.981	0.744	0.282	1.584
Δ Pp (mm/año)	14.130	42.823	-113.589	5.075	23.170	-12.875	3.786	6.902	8.115	69.325	26.032	9.880	55.44
r²	0.002	0.018	0.122	0.000	0.104	0.026	0.001	0.010	0.002	0.197	0.018	0.001	0.004
P-value	0.806	0.429	0.035	0.903	0.051	0.348	0.849	0.563	0.808	0.008	0.449	0.822	0.700

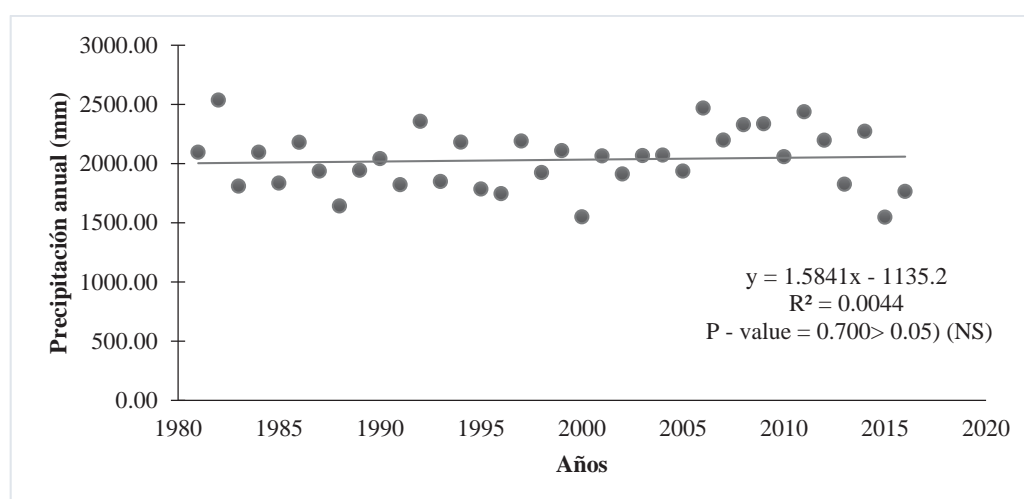


Figura 30. Tendencia lineal de la precipitación según el periodo de evaluación (1981 - 2015).

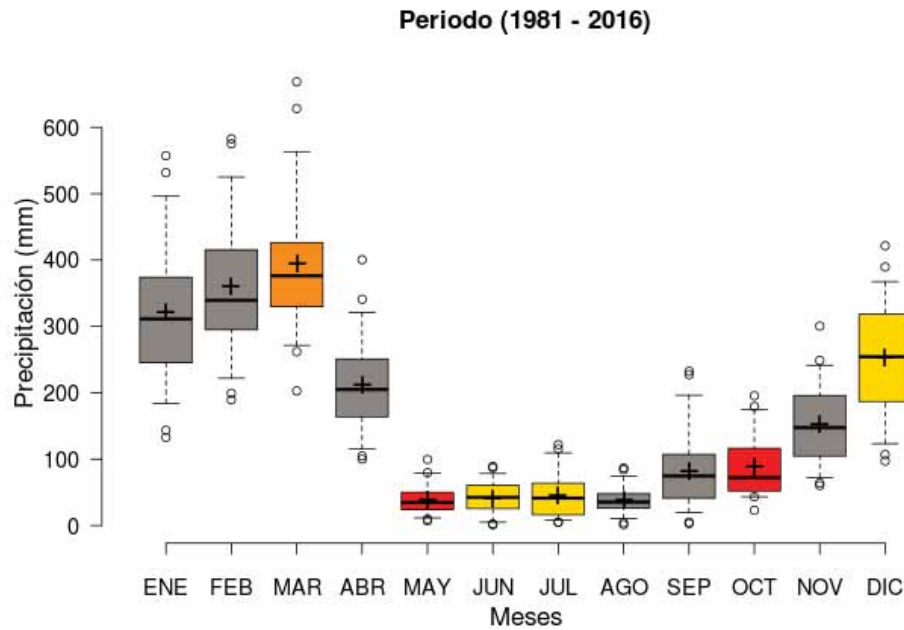


Figura 31. Precipitación promedio según el periodo evaluado 1981 – 2016. Rojo = Incremento significativo. Naranja = disminución significativa. Gris = NS. Crema = disminución NS. Las líneas centrales muestran las medianas; los límites de los recuadros indican los percentiles 25 y 75 según lo determinado por el software R; los bigotes se extienden a los percentiles 5 y 95, los valores atípicos están representados por puntos; Las cruces representan medias muestrales.

En la ciudad de Puerto Maldonado, según el registro histórico de datos climatológicos modelados para el periodo 1981-2016 la precipitación anual registró el valor mínimo de (1547.21 mm) en 2015 y el valor máximo en el año 1982, con 2536.56 mm. La precipitación promedio anual registrada fue de 2030 mm respectivamente.

Tabla 20. Estadísticos de precipitación 1981 – 2016.

Variable	Precipitación mm (1981-2016)
Media	2030.60
Desviación estándar	250.23
Mínimo	1547.21
Máximo	2536.56

5.3. Análisis de las tendencias anual, mensual y estacional de los elementos climatológicos de temperatura y precipitación en la ciudad de Puerto Maldonado.

5.3.1. Análisis de la tendencia mediante registros históricos del SENAMHI.

El análisis de la tendencia comprende el periodo 1970 – 2017 con datos observados y para datos climatológicos modelados corresponde al periodo 1981 – 2015 para temperatura y de 1981 – 2016 para la precipitación. En ambos casos se realizó el análisis de la tendencia y punto de cambio, con la finalidad de ver si presentan cambios significativos, previa la aplicación de los test no paramétricos.

a. Tendencias de la temperatura media

Mediante el análisis del test de Man-Kendall de la temperatura media anual del periodo 1970 – 2017 se observó una tendencia positiva significativa ($P\text{-value} < 0.05$) siendo la tendencia creciente (Tabla 21). Así mismo el análisis de tendencia confirmó una tendencia positiva significativa en todas las series mensuales (enero-diciembre) durante el periodo de 1970 – 2017. El test de Pettitt anual señaló que el tiempo de cambio fue significativo en el año 1990 ($P\text{-value} < 0.05$). Así mismo, se observa que el cambio mensual en su mayoría ocurrió entre 1990, 1999 y en los últimos 14 años ocurrió entre 2003 y 2004 ($P\text{-value} < 0.05$).

Resultados similares, situado en la cuenca amazónica fueron reportados por Lavado *et al.*, (2013), estos autores encontraron tendencias positivas significativas en la temperatura media anual y estacional en selva ($P\text{-value} < 0.05$). Además, encontraron que el punto de cambio de la temperatura media anual fue en el año 1978, cuyos resultados fueron encontrados a través del análisis del test de Mann-Kendall para determinar la estadística significativa de las tendencias y el test de Pettitt para el punto de cambio. Los Test de Mann-Kendall y Pettitt estuvo representado por ($\alpha=0.05$). Salviano, Groppo y Pellegrino (2016) en el estudio análisis de tendencias encontraron una tendencia positiva significativa a lo largo de todo el año (1961-2011) en la temperatura media , en

gran parte del territorio de Brasil. Se utilizó el test de Mann-Kendall para determinar la estadística significativa de las tendencias.

Según Lavado *et al.* (2013) y Marengo *et al.* (2009) señalan que las estaciones del año para la cuenca amazónica está comprendido por verano los meses de diciembre, enero y febrero (DEF); otoño los meses de mayo, abril y mayo (MAM); invierno los meses de junio, julio y agosto (JJA) y en primavera los meses de setiembre, octubre y noviembre (SON). Además, en los resultados señalan que las series de temperatura media mostraron tendencias positivas significativamente en las estaciones. De acuerdo al test de Pettitt en el periodo de verano (DEF) encontraron un cambio en los años 1993 y 2003; otoño (MAM) en los años 1990 y 2004; invierno (JJA) 1990 y 1999 y en primavera (SON) en los años 1989 y 1990. Por su parte Malhi y Wright (2004) señalan que las temperaturas de la superficie en las selvas tropicales han aumentado rápidamente desde 1970.

Tabla 21. Resultados de las estadísticas del test de Mann-Kendall (Z) durante 1970-2017 de la temperatura media anual y mensual.

Tmedia-Senamhi	Kendall			Pettitt		
	Z	P-value	Tipo de tendencia	U	P-value	Punto de cambio
ANUAL	3.412	0.001	Positivo	269	0.000	1990
ENE	2.082	0.037	Positivo	209	0.013	1993
FEB	2.638	0.008	Positivo	233	0.004	2003
MAR	2.790	0.005	Positivo	243	0.002	2004
ABR	3.601	0.000	Positivo	271	0.000	1990
MAY	2.305	0.021	Positivo	267	0.001	1990
JUN	2.934	0.003	Positivo	271	0.000	1990
JUL	2.448	0.014	Positivo	253	0.001	1999
AGO	3.286	0.001	Positivo	270	0.000	1999
SEP	2.710	0.007	Positivo	254	0.001	1990
OCT	3.354	0.001	Positivo	245	0.002	1989
NOV	3.000	0.003	Positivo	264	0.001	1990
DIC	3.104	0.002	Positivo	259	0.001	2003

Los valores de tendencias significativas que utilizan del test de Mann-Kendal y Pettitt ($\alpha = 0.05$), el valor de Z indica tendencia creciente o decreciente.

a. Tendencias de la temperatura máxima

El test de Mann-Kendall confirma que existe una tendencia positiva significativa ($P\text{-value} < 0.05$) en la serie anual y mensual (enero-diciembre) de la temperatura máxima (Tabla 22). Como los valores de Z son positivos, la tendencia de la temperatura máxima se considera creciente para el periodo 1970 – 2017. El test de Pettitt, indica un cambio anual en el año 1997. En la serie mensual el punto de cambio partir del año 1996 a 1998 y 2001-2002. El test de Pettitt resultaron ser significativa en ambas series (anual y mensual).

Lavado *et al.* (2013) encontró tendencias significativas en la temperatura máxima en los meses junio, julio agosto, setiembre, octubre, noviembre y diciembre, meses que comprende a las estaciones de invierno y primavera. Sin embargo, no encontró tendencias en la temperatura máxima anual ($P\text{-value} > 0.05$). Estos autores utilizaron el test de Mann-Kendall para determinar la estadística significativa de las tendencias durante el periodo 1965 – 2007 para la cuenca amazónica.

Así mismo en el estudio sobre las recientes sequías en la cuenca amazónica peruana por (Espinoza *et al.*, 2011) encontraron cuatro intensas y resientes sequias en los años 1995, 1998, 2005 y 2010 principalmente en la cuenca del Amazonas.

Marengo y Camargo (2007) en el estudio realizado sobre tendencias de la temperatura del aire en la superficie en el sur de Brasil para 1960 – 2002, estos autores encontraron tendencias positivas significativas para la temperatura máxima anual y mensual en el periodo 1960 – 2002 además señalan que, la temperatura máxima del aire aumentó durante todas las décadas, especialmente durante 1990 – 2002. Por otra parte (Almeida, Oliveira, Delgado, Cubo, y Ramos, 2016) para el periodo 1973 – 2013 también encontraron tendencias positivas significativa para la serie de temperatura máxima anual en gran parte de la región amazónica. En ambos estudios utilizaron el test de Mann-Kendall para determinar la estadística significativa y la

serie climática histórica fue de las estaciones meteorológicas convencionales (Almeida *et al.*, 2016).

Tabla 22. Resultados de las estadísticas del test de Mann-Kendall (Z) durante 1970-2017 de la temperatura máxima anual y mensual.

Temperatura máxima 1970 - 2017	Kendall			Pettitt		
	Z	P-value	Tipo de tendencia	U	P-value	Punto de cambio
ANUAL	3.577	0.000	Positivo	378	0.0000	1997
ENE	2.977	0.003	Positivo	314	0.0005	1997
FEB	3.166	0.002	Positivo	350	0.0004	1997
MAR	3.105	0.002	Positivo	399	0.0000	1998
ABR	3.511	0.000	Positivo	392	0.0000	1998
MAY	2.296	0.022	Positivo	330	0.0011	1998
JUN	2.826	0.005	Positivo	328	0.0007	2000
JUL	2.549	0.011	Positivo	320	0.0017	2000
AGO	3.904	0.000	Positivo	391	0.0001	1997
SEP	2.909	0.004	Positivo	374	0.0001	1996
OCT	3.182	0.001	Positivo	320	0.0011	2001
NOV	3.548	0.000	Positivo	369	0.0001	2001
DIC	4.208	0.000	Positivo	421	0.0000	1996

Los valores de tendencias significativas que utilizan el test de Mann-Kendal y Pettitt ($\alpha = 0.05$), el valor de Z indica tendencia creciente o decreciente.

b. Tendencias de la temperatura mínima

El test de Mann-Kendall confirma que existe una tendencia positiva significativa ($P\text{-value} < 0.05$) en la serie anual de la temperatura mínima (Tabla 23). Como los valores de Z son positivos, la tendencia se considera creciente para el periodo 1970 – 2017. En la serie mensual se encontró tendencia positiva significativa de abril a octubre y diciembre ($P\text{-value} < 0.05$) sin embargo no se encontró tendencia para los otros meses del año. El punto cambio de la temperatura mínima anual fue en el año 2009. En la serie mensual el punto de cambio está más representado por los años 2008 y 2009. En ambos casos el test de Pettitt resultaron ser estadísticamente significativos.

Lavado *et al.* (2013) también encontraron tendencia positiva significativa ($P\text{-value} < 0.05$) para la temperatura media anual en el periodo 1965 – 2007 en la

cuenca amazónica peruana, aplicaron el test de Mann-Kendall y Pettitt analizando en 77 estaciones meteorológicas. Lavado *et al.* (2013) señala que el punto de cambio para la temperatura mínima se dio en el año 1981. En comparación con la presente investigación el test de Pettitt no guarda relación por lo que se presume los factores periodo de evaluación, cantidad de las estaciones meteorológicas y el lugar. Así mismo Lavado *et al.* (2013) encontró una tendencia positiva significativa ($P\text{-value}<0.05$) para la toda la serie mensual (enero a diciembre).

Por otra parte, Marengo y Camargo (2007) encontraron una tendencia positiva significativa para la temperatura mínima anual durante el periodo 1960 – 2002 en la parte sur de Brasil, realizado con datos históricos de 27 estaciones meteorológicas. Almeida *et al.* (2016) durante el periodo 1973 – 2013 encontraron una tendencia positiva muy significativa para la temperatura mínima anual en la Amazonia de Brasil, en este estudio se analizaron con 47 estaciones de toda la Amazonia de Brasil de los cuales el 5% de las estaciones no presentó tendencia significativa. Utilizaron el test de Mann-Kendall para determinar estadística de las tendencias.

Tabla 23. Resultados de las estadísticas del test de Mann-Kendall (Z) durante 1970-2017 de la temperatura mínima anual y mensual.

Temperatura mínima 1970 - 2017	Kendall			Pettitt		
	Z	P-value	Tipo de tendencia	U	P-value	Punto de cambio
ANUAL	3.227	0.001	Positivo	217	0.027	2009
ENE	1.431	0.153	Ninguna	189	0.119	2009
FEB	1.863	0.062	Ninguna	230	0.040	2009
MAR	1.591	0.112	Ninguna	212	0.073	2009
ABR	2.558	0.011	Positivo	203	0.077	2009
MAY	2.357	0.018	Positivo	215	0.083	2009
JUN	2.868	0.004	Positivo	288	0.004	2003
JUL	3.267	0.001	Positivo	332	0.001	2000
AGO	4.380	0.000	Positivo	336	0.001	1994
SEP	3.590	0.000	Positivo	302	0.002	2003
OCT	3.067	0.002	Positivo	260	0.014	2008
NOV	1.612	0.107	Ninguna	220	0.056	2008
DIC	2.428	0.015	Positivo	255	0.023	2008

Los valores de tendencias significativas que utilizan el test de Mann-Kendal y Pettitt ($\alpha = 0.05$), el valor de Z indica tendencia creciente o decreciente.

c. Tendencias de la precipitación

El test de Mann-Kendall y Pettitt a pesar de no ser significativas corroboran que existe no tendencia en las series de precipitación, indicando que existe una tendencia decreciente (negativo) para la serie mensual (enero a diciembre) del periodo 1970 – 2017. Cuando los estadísticos son positivos la tendencia se considera creciente y si son negativos la tendencia es decreciente respectivamente.

Durante los meses de enero, abril, junio, julio, octubre y noviembre el valor de Z resultó negativo, lo que indica que la precipitación mensual disminuyó. El punto de cambio de la precipitación comenzó en 1977, 1984, 1986 y 1998; en los últimos 17 años ocurrió entre los años 2000 y 2002. Sin embargo, ninguna de estos dos test resultó ser significativas.

Similares resultaron fueron encontrados por Espinoza *et al.* (2010), donde encontraron una disminución no significativa de la precipitación en la cuenca amazónica ($P\text{-value} > 0.05$), analizado mediante el test de Mann-Kendall ($Z = -0.33$) para el periodo 1975 – 2003 y el punto de cambio fue en 1982 y 1989. Así mismo señala que, la variabilidad de la precipitación decreció desde 1980, siendo predominante en invierno (JJA), primavera (SON). También señala una disminución de la precipitación para la época más lluviosa del año, diciembre, enero y febrero. En comparación con los resultados encontrados, en los meses de junio, julio y agosto la precipitación disminuyó en la ciudad de Puerto Maldonado, sin embargo, no fueron significativas.

Así mismo Lavado *et al.* (2013) en el estudio tendencias en la precipitación y la temperatura en la cuenca amazónica-andina peruana en los últimos 40 años (1965–2007) no se encontró tendencia positiva significativa anual y en los meses de diciembre, enero, febrero, marzo, abril y mayo. Para el mismo periodo 1965-2007 encontró una tendencia negativa en los meses junio, julio, agosto, setiembre, octubre y noviembre, sin embargo, no fueron significativas. La tendencia fue resultado del test de Mann-Kendall. Similares resultados se encontraron para la precipitación en la presente investigación.

Por otro lado, Lavado, Ronchail, Labat, Espinoza, y Guyot (2012) señalan que las tendencias y puntos de cambio de la precipitación en la cuenca amazónica se presentaron a mediados de los 80. Así mismo los cambios de la lluvia en la amazonia sur se dio a partir del 1970 (Salazar, Nobre y Oyama, 2007).

Así mismo Almeida *et al.* (2016) encontraron tendencias no significativas en la precipitación anual durante el periodo 1973 – 2013 para la amazonia peruana, utilizaron las series de precipitación de estaciones meteorológicas convenciones en la región amazónica. Utilizó el test de Mann-Kendall para determinar estadística de las tendencias.

Tabla 24. Resultados de las estadísticas del test de Mann Kendall durante 1970-2017 de la precipitación anual y mensual.

Precipitación 1970 - 2017	Kendall			Pettitt		
	Z	P-value	Tipo de tendencia	U	P-value	Punto de cambio
ANUAL	0.340	0.734	Ninguna	58	1.037	1997
ENE	-0.444	0.657	Ninguna	176	0.173	1988
FEB	0.398	0.691	Ninguna	134	0.532	1986
MAR	0.314	0.754	Ninguna	112	0.793	
ABR	-0.035	0.972	Ninguna	76	1.179	1986
MAY	1.202	0.229	Ninguna	140	0.378	1977
JUN	-0.254	0.800	Ninguna	82	1.030	1984
JUL	-1.192	0.233	Ninguna	113	0.728	1978
AGO	-0.539	0.590	Ninguna	143	0.352	1977
SEP	0.555	0.579	Ninguna	113	0.780	2000
OCT	-0.738	0.460	Ninguna	135	0.570	1998
NOV	-1.022	0.307	Ninguna	136	0.415	2002
DIC	0.839	0.401	Ninguna	143	0.489	2000

Los valores de tendencias significativas que utilizan el test de Mann-Kendal y Pettitt ($\alpha = 0.05$), el valor de Z indica tendencia creciente o decreciente.

d. Tendencias estacionales de la precipitación y temperatura

Los datos de las tendencias estacionales se analizaron teniendo en cuenta una división de temporada que corresponde a los meses del año: estación de primavera (septiembre, octubre, noviembre); verano (diciembre, enero, febrero); otoño (marzo, abril, mayo) y la estación de invierno (junio, julio, agosto) según Lavado *et al.* (2013), Marengo *et al.* (2009) y Pedron *et al.* (2016). El análisis de las tendencias estacionales de la temperatura y precipitación a escala estacional, se realizó para el periodo 1970 – 2017, se utilizó el test de Mann-Kendall y Pettitt, respectivamente, con un nivel estadísticamente significativo de 0.05. Los resultados se presentan en la Tabla 25.

De acuerdo a los resultados encontrados en la presente investigación estacionalmente la precipitación no mostró tendencias para las estaciones de verano (DJF), otoño (MAM) e invierno (JJA) ($P\text{-value} > 0.05$). Sin embargo, en la estación de primavera (SON) se encontró una tendencia positiva significativa de la precipitación estacional ($P\text{-value} < 0.05$).

De acuerdo Lavado *et al.* (2013) señalan que en las estaciones de verano y otoño no encontraron tendencias para la precipitación para la cuenca amazónica. Sin embargo, para las estaciones de invierno y primavera encontraron tendencias negativas, pero no fueron significativas de 75 estaciones de estudio, resultados que fueron encontrados empleando el test de Mann-kendall para la cuenca amazónica. Estos últimos resultados coinciden con Li, Fu, Juarez y Fernandez (2008) donde encontraron una tendencia negativa significativa para la precipitación estacional y anual en la región sur de la Amazonia durante el periodo de 30 años de 1970 – 1999.

Así mismo Satyamurty *et al.*(2010) analizaron la tendencia anual y estacional de las precipitaciones en 18 estaciones a lo largo de los principales ríos de la cuenca amazónica brasileña, utilizando datos de al menos 45 años durante el período 1925–2007, y no encontraron tendencias significativas para la mayoría de los casos.

El análisis estacional de las tendencias en la temperatura media para el periodo 1970 – 2017 se encontró en gran mayoría tendencias positivas significativas ($P\text{-value} < 0.05$) para verano (2003), otoño (2004), invierno (1999) y primavera (1990). El punto de cambio fue distintos periodos siendo el más antiguo el año 1999; así mismo el test de Pettitt fue estadísticamente significativa. En la temperatura máxima estacional para el periodo 1970 – 2017 también se encontró una tendencia positiva significativa ($P\text{-value} < 0.05$) para verano (1997), otoño (1997), invierno (1997) y primavera. Sin embargo, en la serie estacional de primavera el punto de cambio resultó ser no significativo (Tabla 25).

En relación a la temperatura mínima estacional se encontró tendencia positiva significativa en las estaciones de invierno (2003) y primavera (2008) para el periodo 1970 – 2017 (Tabla 25).

Resultados similares fueron encontrados en la temperatura media y temperatura máxima por Lavado *et al.* (2013), donde encontraron tendencias positivas significativas para verano (1976), otoño (1979), invierno (1981) y primavera (1981) durante el periodo 1965 – 2007. En la variable de temperatura mínima estacional, encontraron tendencias positivas significativas para verano (1986), otoño (1982), invierno (1981) y primavera (1981); los resultados fueron similares para las estaciones de invierno y primavera con la presente investigación, sin embargo, no fue igual en las estaciones de verano y otoño. Esta diferencia se podría deber a la cantidad de estaciones meteorológicas utilizadas por (Lavado *et al.*, 2013).

Tabla 25. Tendencias estacionales de precipitación y temperatura – SENAMHI

	Precipitación 1970 - 2017	Tmedia	Tmáxima 1970 - 2017	Tminima
Anual	0.734	0.001	0.000(1997)	0.001(2009)
Verano (DJF)	0.441	0.000(2003)	0.009 (1997)	0.124
Otoño (MAM)	0.528	0.000(2004)	0.041 (1997)	0.133
Invierno (JJA)	0.761	0.000(1999)	0.006 (1997)	0.001(2003)
Primavera (SON)	0.030(2003)	0.000(1990)	0.001 (1997*)	0.014(2008)

Los valores de tendencias significativas que utilizan el test de Mann-Kendal y Pettitt ($\alpha = 0.05$). Los valores entre paréntesis son años de punto de cambio medio utilizando el test de Pettitt.

5.3.2. Análisis de la tendencia mediante datos climatológicos modelados (PISCO).

a. Tendencias de la temperatura media

Para los datos climatológicos modelados de PISCO mediante el test de Mann-Kendall se observó una tendencia positiva significativa ($P\text{-value} < 0.05$) para la temperatura media anual del periodo 1981 – 2015. En la serie mensual se observó una tendencia positiva en los meses de setiembre (Pettitt = 2006), octubre (Pettitt = 1996) y diciembre (Pettitt = 2001); sin embargo, el resto de los meses del año no se detectó ninguna tendencia. El test de Pettitt anual indicaría un cambio en el año 2004. Los dos test resultaron ser significativas en la tendencia anual y mensual (SOD).

Por otra parte Espinoza, Ronchail, Marengo y Segura (2018) señalan que la frecuencia de días seco aumentó significativamente en el sur de la Amazonia ($P\text{-value} < 0.05$), particularmente durante setiembre en la Amazonia Boliviana y Amazonia Peruana central así como en el extremo sur de la Amazonia Brasileña. Esta investigación se realizó utilizando datos de precipitación observada y datos satelitales de CRIRPS (The Climate Hazards Group Infrared Precipitation with Stations) durante el periodo 1981-2017. Los análisis estadísticos de las series temporales climáticas de precipitación realizaron con el test de Mann-Kendall.

Así mismo utilizando datos climatológicos de CRUTS y UDelaware (University of Delaware Climate data) (Gloor *et al.*, 2015) encontraron tendencias positivas en la temperatura media anual con un nivel de confianza de 90%, para la cuenca amazónica.

Tabla 26. Resultados de las estadísticas del test de Mann-Kendall durante 1981-2015 de la temperatura media anual y mensual (PISCO).

Tmedia_Pisco	Kendall			Pettitt		
	Z	P-value	Tipo de tendencia	U	P-value	Punto de cambio
ANUAL	2.727	0.006	Positivo	180.00	0.024	2004
ENE	0.625	0.532	Ninguna	90.00	0.664	2002
FEB	0.682	0.495	Ninguna	92.00	0.632	2002
MAR	1.165	0.244	Ninguna	102.00	0.486	2001
ABR	1.193	0.233	Ninguna	108.00	0.409	2003
MAY	0.398	0.691	Ninguna	98.00	0.541	2009
JUN	1.136	0.256	Ninguna	116.00	0.321	2002
JUL	0.057	0.955	Ninguna	104.00	0.459	1987
AGO	-0.028	0.977	Ninguna	80.00	0.837	2010
SEP	2.755	0.006	Positivo	162.00	0.056	2006
OCT	2.244	0.025	Positivo	144.00	0.119	1996
NOV	1.591	0.112	Ninguna	100.00	0.513	2000
DIC	3.011	0.003	Positivo	214.00	0.004	2001

Los valores de tendencias significativas que utilizan el test de Mann-Kendal y Pettitt ($\alpha = 0.05$), el valor de Z indica tendencia creciente o decreciente.

b. Tendencias de la temperatura máxima

En los análisis del test de Mann-Kendall para la serie de la temperatura máxima anual no se encontró una tendencia. En la serie mensual de setiembre y diciembre se encontró una tendencia positiva significativa ($P\text{-value} < 0.05$). Sin embargo, no se encontró tendencia significativa para los otros meses del año. Por otro lado, según el test de Mann-Kendall, se puede observar que en los meses de mayo y julio presentaron tendencias negativas, sin embargo, no fueron estadísticamente significativos (Tabla 27). Asimismo, según el test de Pettitt, se observa que el punto de cambio en la serie de temperatura máxima mensual varía entre los años 2002 y 2005.

Tabla 27. Resultados de las estadísticas del test de Mann-Kendall durante 1981-2015 de la temperatura máxima anual y mensual (PISCO).

Tmáxima_Pisco	Kendall			Pettitt		
	Z	P-value	Tipo de tendencia	U	P-value	Punto de cambio
ANUAL	1.846	0.065	Ninguna	176	0.030	2004
ENE	0.454	0.650	Ninguna	92	0.632	2004
FEB	0.312	0.755	Ninguna	82	0.801	2010
MAR	1.619	0.106	Ninguna	160	0.061	2003
ABR	0.398	0.691	Ninguna	94	0.601	1983
MAY	-0.199	0.842	Ninguna	70	1.027	1985
JUN	0.511	0.609	Ninguna	92	0.632	1983
JUL	-0.738	0.460	Ninguna	120	0.282	1987
AGO	0.170	0.865	Ninguna	70	1.027	1993
SEP	3.124	0.002	Positivo	214	0.004	2005
OCT	1.477	0.140	Ninguna	124	0.247	1996
NOV	0.824	0.410	Ninguna	76	0.912	2002
DIC	2.869	0.004	Positivo	208	0.006	2002

Los valores de tendencias significativas que utilizan del test de Mann-Kendal y Pettitt ($\alpha = 0.05$), el valor de Z indica tendencia creciente o decreciente.

c. Tendencias de la temperatura mínima

En el análisis para la temperatura mínima anual 1981 – 2015 se encontró una tendencia positiva significativa ($P\text{-value} < 0.05$) es decir que la temperatura mínima va en incremento. Asimismo, las temperaturas mínimas mensuales presentaron tendencias positivas significativas en los meses de febrero, junio, octubre y diciembre. Por otro lado, se puede observar que en el mes de agosto se presentó una tendencia negativa en el test Mann-Kendall, sin embargo, no fue estadísticamente significativo.

Por otro lado, el test de Pettitt para este periodo anual señala un cambio en el año 1992. En las series mensuales el punto de cambio comprende los años 1991, 2001 y 2002. Ambos test resultaron ser estadísticamente significativas ($P\text{-value} < 0.05$)

Tabla 28. Resultados de las estadísticas del test de Mann-Kendall durante 1981-2015 de la temperatura mínima anual y mensual (PISCO).

Tmínima_Pisco	Kendall			Pettitt		
	Z	P-value	Tipo de tendencia	U	P-value	Punto de cambio
ANUAL	2.471	0.013	Positivo	168	0.043	1992
ENE	0.795	0.427	Ninguna	70	1.027	2002
FEB	2.045	0.041	Positivo	166	0.047	2001
MAR	0.795	0.427	Ninguna	106	0.434	1997
ABR	1.449	0.148	Ninguna	116	0.321	2003
MAY	1.108	0.268	Ninguna	90	0.664	2008
JUN	2.045	0.041	Positivo	140	0.139	2002
JUL	0.653	0.514	Ninguna	86	0.731	2000
AGO	-0.284	0.776	Ninguna	94	0.601	2008
SEP	1.761	0.078	Ninguna	144	0.119	1991
OCT	2.386	0.017	Positivo	164	0.052	1991
NOV	1.591	0.112	Ninguna	98	0.541	2003
DIC	2.301	0.021	Positivo	170	0.039	2001

Los valores de tendencias significativas que utilizan el test Mann-Kendal y Pettitt ($\alpha = 0.05$), el valor de Z indica tendencia creciente o decreciente.

d. Tendencia de la precipitación

Para el periodo de 1981-2016, no se encontró tendencia anual ($P\text{-value} > 0.05$). En el mes de marzo la tendencia fue negativa estadísticamente significativa ($Z = -2.384$) lo que indicaría una disminución de la precipitación. Por otro lado, en el mes de octubre se observa una tendencia positiva estadísticamente significativa ($P\text{-value} < 0.05$) y el punto de cambio fue en el año 2000. Así mismo, se observa tendencia negativa en los meses de junio y julio. Sin embargo, las aplicaciones del test resultaron ser significativas. Así mismo no se observa tendencias de la precipitación para el periodo 1981 – 2016, es decir no presentó cambios significativos.

En comparación con los resultados de precipitación observada y los datos climatológicos modelados de PISCO, no se encontró tendencia en la precipitación anual para ambas series. En la serie mensual de la precipitación observada se encontró tendencia negativa no significativa en 7 meses. Lo contrario se encontró en los datos de PISCO, donde el mes de marzo la

tendencia fue negativa significativa y en el mes octubre se encontró tendencia positiva significativa.

Resultados similares fueron encontrados por Silva *et al.* (2018) donde la precipitación anual y mensual no mostró tendencias para el periodo 1998 y 2015. Los datos climatológicos de la precipitación fueron del satélite de la Tropical Rainfall Measuring Mission satellite (TRMM) el método estadístico empleado fue Mann-Kendall. Estos resultados fueron encontrados para la cuenca amazónica brasileña.

Por otra parte Marengo (2004) encontró tendencias negativas en la precipitación para toda la cuenca del Amazonas, en el estudio sobre la variabilidad interdecal y tendencias de las precipitaciones, empleando la serie climática de CRU. Resultados similares con disminución de la precipitación en la región de Brasil fueron encontrados utilizando datos modelados (Lacerda *et al.*, 2015).

Sin embargo, en el este estudio realizado por Wang, Li, Zhu y Tanajura (2018), investigaron sobre los cambios en la precipitación en la Amazonía ecuatorial durante la época húmeda en el período 1979-2015. En este estudio utilizaron cinco datos de precipitación satelital (1) the GPCP (Global Precipitación Climatology Project), (2) the CRU TS, (3) the CMAP (CPC Merged Analysis of Precipitation) observational, (4) ECMWF (the ERA-Interim reanalysis data from the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts), (5) CFSR (Climate Forecast System Reanalysis) donde encontraron que la precipitación se incrementa dramáticamente en la temporada de lluvias durante el periodo 1979 – 2015, los datos climatológicos de reanálisis o satelital mostraron tendencias positivas significativas en la amazonia ecuatorial.

Tabla 29. Resultados de las estadísticas del test de Mann-Kendall durante 1981-2016 de la precipitación anual y mensual (PISCO).

Precipitación_Pisco	Kendall			Pettitt		
	Z	P-value	Tipo de tendencia	U	P-value	Punto de cambio
ANUAL	0.695	0.487	Ninguna	98	0.601	2002
ENE	-0.150	0.881	Ninguna	79	0.916	2005
FEB	0.613	0.540	Ninguna	80	0.898	1996
MAR	-2.384	0.017	Negativa	196	0.016	1994
ABR	0.014	0.989	Ninguna	55	1.370	2005
MAY	1.294	0.196	Ninguna	134	0.212	2006
JUN	-0.804	0.422	Ninguna	81	0.880	2003
JUL	-0.449	0.653	Ninguna	80	0.898	2010
AGO	0.722	0.470	Ninguna	79	0.916	1989
SEP	0.204	0.838	Ninguna	56	1.351	2012
OCT	2.247	0.025	Positiva	220	0.005	2000
NOV	0.232	0.817	Ninguna	153	0.107	1997
DIC	-0.259	0.796	Ninguna	81	0.880	2009

Los valores de tendencias significativas que utilizan el test de Mann-Kendal y Pettitt ($\alpha = 0.05$), el valor de Z indica tendencia creciente o decreciente.

Por su parte (Zubieta *et al.*, 2019) señala que los conjuntos de datos de precipitación basados en satélites son útiles para analizar la concentración de precipitaciones en algunas regiones de la cuenca amazónica.

e. Tendencias estacionales de la precipitación y temperatura

De acuerdo a los resultados encontrados en la presente investigación las series de precipitaciones no muestran tendencia en la serie anual y estacional, (verano, otoño, invierno y primavera) ($P\text{-value} > 0.05$) (Tabla 30)

Las series de temperatura media muestran tendencias positivas durante las estaciones de verano (DJF) y primavera (SON) ($P\text{-value} < 0.05$), pero esta tendencia positiva (+Z) es mucho mayor en verano que comprende los meses de diciembre, enero y febrero. El punto de cambio para verano fue en el año 2002 mientras para primavera el año 2000.

Para la serie de temperatura máxima únicamente se encontró tendencia positiva en la estación de verano, y el test Pettitt, señaló el punto de cambio en el año 2002. Así mismo el test se Mann-Kendall mostró una tendencia de aumento significativo de la temperatura mínima en las estaciones de verano y primavera. El test de Pettitt, señaló un cambio significativo para la estación de primavera fue en 1991 y verano 2001 (Tabla 30).

Sin embargo, las tendencias de otoño e invierno en la serie de temperatura no son significativas (test de Mann-Kendall). Los resultados obtenidos del análisis estacional sugieren que es importante investigar las tendencias con mayor detalle y según el período analizado.

Tabla 30. Resultados de las estadísticas del test de Mann Kendall para la precipitación y temperatura estacional (PISCO).

	Precipitación 1981-2016	T _{media}	T _{maxima} 1981-2015	T _{minima}
Annual	0.487	0.006 (2004)	0.065	0.013 (1992)
Verano (DJF)	0.595	0.025 (2002)	0.069	0.038 (2001)
Otoño (MAM)	0.153	0.191	0.320	0.255
Invierno (JJA)	0.454	0.410	0.997	0.083
Primavera (SON)	0.131	0.001(2000)	0.003 (2002)	0.031 (1991)

Los valores de tendencias significativas que utilizan el test de Mann-Kendal y Pettitt ($\alpha = 0.05$). Los valores entre paréntesis son años de cambio medio utilizando el test de Pettitt.

Análisis de la deforestación entre los elementos climatológicos de temperatura y precipitación

En el departamento de Madre de Dios, de acuerdo al Ministerio del Ambiente se deforestó un total de 186 242 ha, que fue desde el año 2001 - 2017. Según Caballero *et al.* (2018) la deforestación a partir del año 2010 se incrementó, por lo que estuvo influenciado por el alza de precio del oro.

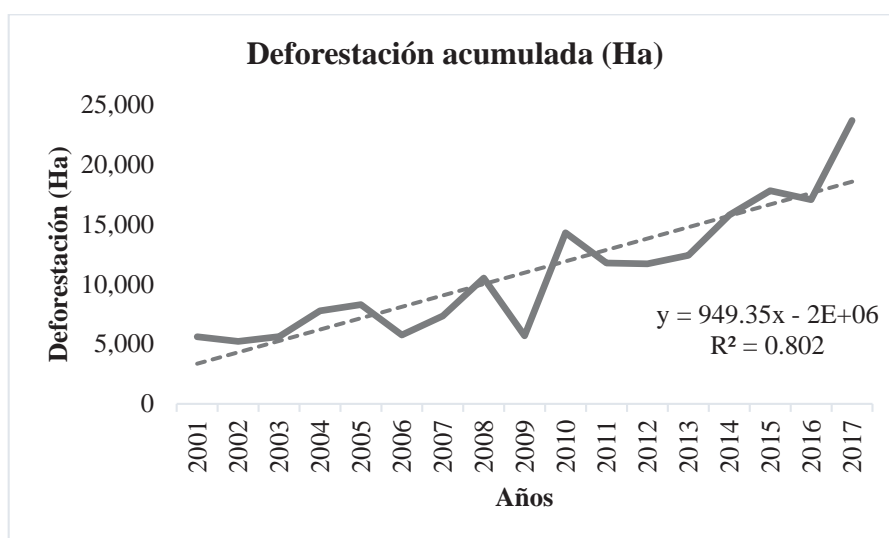


Figura 32. Tasa anual de la deforestación en el departamento de Madre de Dios, en el periodo 2001 a 2017. Fuente: elaboración propia según el Ministerio del Ambiente (<https://bit.ly/2yKQzdw>)

Considerando la serie histórica de la deforestación del periodo 2001 – 2017, se encontró un incremento estadísticamente significativo de la deforestación (*P-value* < 0.05). El valor máximo durante el periodo de 2001 – 2017, fue registrado en el 2017, en 23 669 ha deforestadas.

Tabla 31. Regresión lineal de la deforestación entre el tiempo

(A)	Deforestación
Pendiente:	0.94937
Δ Pp (Ha/año)	15.18992
r²:	0.80203
P-value	0.0001

Los valores de tendencia lineal significativas que utilizan ($\alpha = 0.05$)

Análisis de la deforestación entre las variables climatológicas de temperatura y precipitación.

Para verificar la relación de la deforestación con los elementos climatológicos de precipitación y temperatura, se utilizó la prueba de normalidad. Debido a que los datos de deforestación, temperatura media, temperatura máxima, temperatura mínima y la precipitación cumplieron los supuestos paramétricos de normalidad (prueba de Shapiro-Wilk, $P\text{-value} > 0.05$) y homogeneidad de varianzas (prueba de Levene, $P\text{-value} > 0.05$), solo para precipitación entre deforestación; mientras que en los demás casos no se cumplió con estos supuestos (prueba de Levene, $P\text{-value} < 0.05$),

Como los datos no cumplieron con el supuesto paramétrico de Homogeneidad de Varianzas (Test de Levene $P\text{-value} < 0.05$) se utilizó la prueba de correlación no-paramétrica de Spearman para relacionar la deforestación con elementos climatológicos precipitación y temperatura.

Tabla 32. Coeficiente de Spearman para las variables climatológicas de precipitación, temperatura y deforestación durante 2001 – 2017.

	Correlación	Precipitación	Tmedia	Tmáxima	Tmínima
Deforestación	$P\text{-value}$	0.587	0.001	0.284	0.000
	ρ	-0.147	0.723	-0.276	0.858

Los valores de tendencias significativas que se utilizan en tendencia lineal ($\alpha = 0.05$).

a. Correlación de la temperatura máxima entre la deforestación

Según los resultados encontrados el coeficiente de Spearman mostró una correlación negativa no significativa ($P\text{-value}>0.05$) ($\rho=-0.276$) entre la deforestación regional con la temperatura máxima (Figura 33).

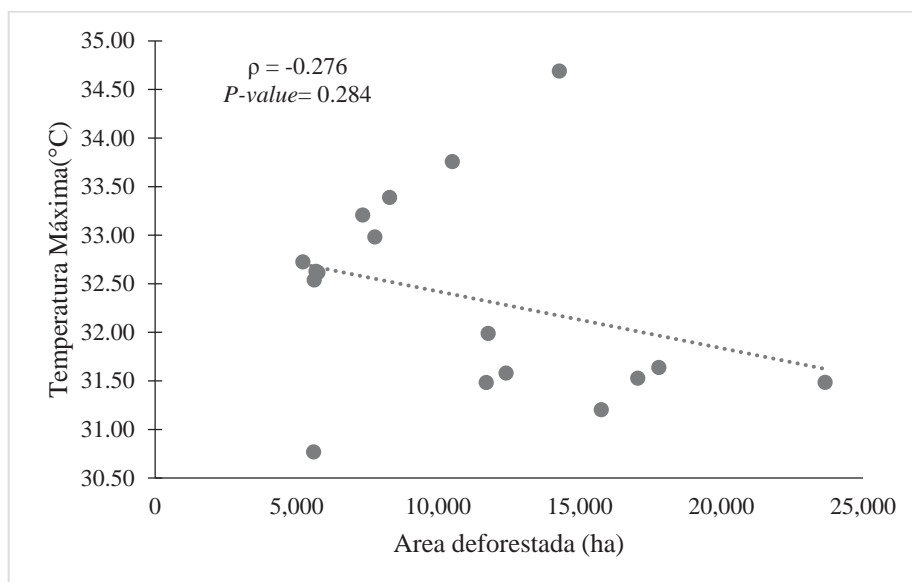


Figura 33. Coeficiente de Spearman para la variable de temperatura máxima y deforestación, durante los años 2001 a 2017 en el departamento de Madre de Dios.

Mesias (2015) encontró una relación directa (65.9%) entre la deforestación y la temperatura máxima para el periodo 1973-2013 en el eje vial Iquitos – Nauta, lo cual sugiere que la variabilidad de la temperatura máxima tiene una correlación alta con la deforestación. Sin embargo, este resultado no concuerda con el encontrado, por lo que se presume los años de evaluación de la deforestación con la base histórica de la temperatura máxima.

b. Correlación de la temperatura mínima entre la deforestación

El coeficiente de Spearman mostró una correlación positiva significativa entre la deforestación regional con la temperatura mínima ($P\text{-value} < 0.05$) ($\rho = 0.858$) por lo que se presume que a mayor deforestación o cuanto mayor es el área deforestada, mayor es la temperatura mínima (Figura 34).

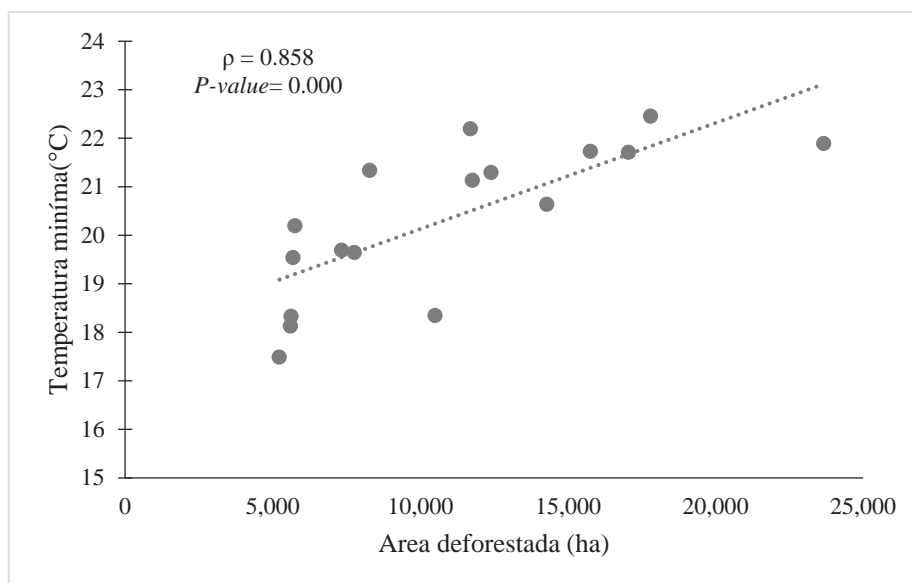


Figura 34. Coeficiente de Spearman para la variable de temperatura mínima y deforestación, durante los años 2001 a 2017 en el departamento de Madre de Dios.

c. Correlación de la temperatura media entre la deforestación

El análisis de correlación de Spearman demostró una relación positiva significativa entre la deforestación regional con la temperatura media ($P\text{-value} < 0.05$) ($\rho = 0.723$). Lo cual sugiere que a mayor deforestación o cuanto mayor es el área deforestada, mayor es la temperatura media (Figura 35).

Layza *et al.* (2018), reportaron en la provincia de San Martín una relación directamente proporcional entre la deforestación y la temperatura media, por su parte señaló que, a mayor deforestación, mayor es la temperatura media, la regresión lineal y correlación está representado por un grado de 66.28% ($y = 8E-07x + 25.846$) para el periodo analizado.

Así mismo Mesias (2015) encontró una relación directa de la deforestación entre la temperatura media, pero sin embargo no fue significativa para el periodo 1973 a 2014 en el eje vial de Iquitos-Nauta.

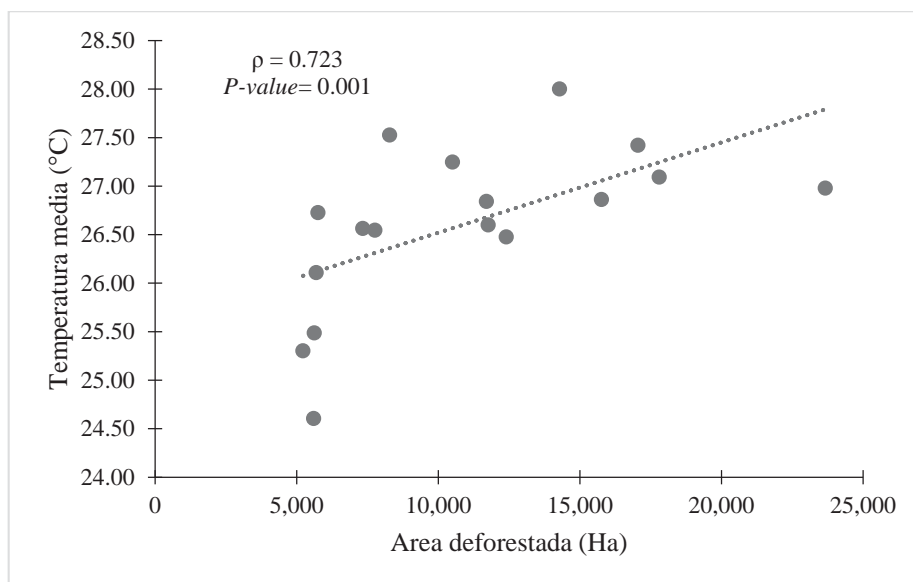


Figura 35. Coeficiente de Spearman para la variable de temperatura media y deforestación, durante los años 2001 a 2017 en el departamento de Madre de Dios.

d. Correlación de la precipitación entre la deforestación

El coeficiente de Spearman reveló una correlación negativa no significativa entre los niveles de deforestación regional con la precipitación ($P\text{-value} > 0.05$) ($\rho = -0.147$) por lo que se sugiere que a mayor deforestación o cuanto mayor es el área deforestada, la precipitación podría disminuir en la ciudad de Puerto Maldonado (Figura 36).

Layza *et al.* (2018), reportaron para la provincia de San Martín durante el periodo de 1973 - 2014 una relación inversa entre la deforestación y la precipitación, analizado mediante un análisis de regresión lineal. Su grado de relación fue de 63,39% ($y = -0.0003x + 1215.9$) estos resultados señalan que a mayor deforestación es menor la precipitación. Así mismo Mesias (2015) encontró 97.3% de una correlación directa de la deforestación entre la precipitación.

Por su parte Bonini *et al.* (2014) encontró una correlación negativa significativa a través de la prueba de coeficiente de Spearman ($\rho = -0.84$) ($P\text{-value} = 0.00826$)

entre la deforestación regional y la precipitación local en el Sur de la Amazonia, así mismo señala que a mayor a deforestada, menor es la precipitación. También señala que la deforestación puede influir en el ciclo hidrológico en regiones tropicales como es el Sur de la Amazonia. El periodo de estudio comprendió el periodo 1989 a 1999.

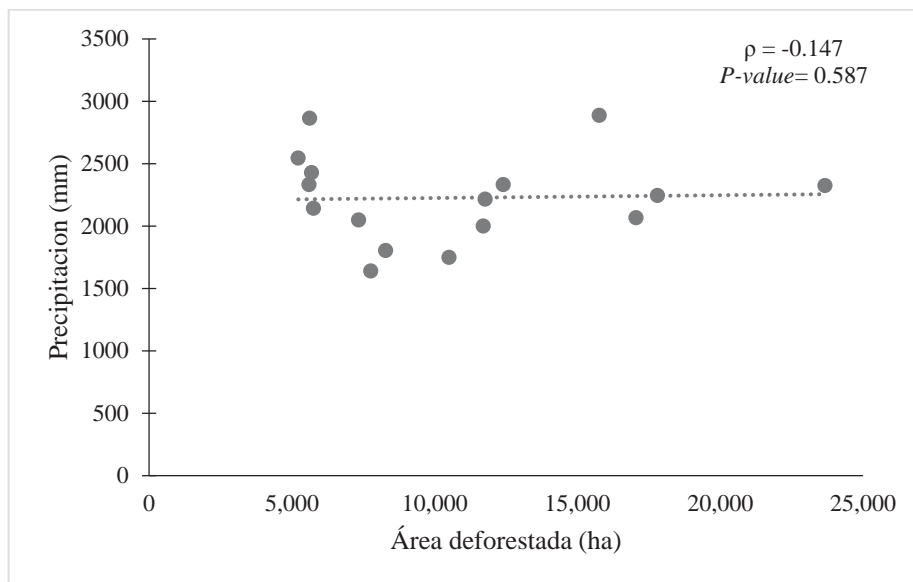


Figura 36. Coeficiente de Spearman para la variable de precipitación y deforestación, durante los años 2001 a 2017 en el departamento de Madre de Dios.

VI. 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 ni mensual. En la serie climática modelada de PISCO (1981-2015) se encontró un incremento significativo de la temperatura y no se encontró un incremento o disminución significativa para la precipitación total anual.
- En la serie histórica observada del SENAMHI, la temperatura media, máxima y mínima anual y mensual presentan tendencia positiva significativa para el periodo 1970-2017. El punto probable de cambio de la temperatura inicia en 1989. En la serie climatológica modelada de PISCO se encontró una tendencia significativa en la temperatura media, mínima anual, no significativas para las máximas. No se encontró tendencias anual, mensual y estacional de la precipitación observada y modelada.
- En la serie histórica observada del SENAMHI se encontró una tendencia significativa de la temperatura media y máxima de verano, otoño, invierno y primavera; con puntos probable de cambio de tendencia entre 1990 al 2004 en la temperatura media y entre 1997 para la temperatura máxima. En la temperatura mínima solo se encontró tendencia significativa en la estación de invierno y primavera. Por otro lado, se encontró una tendencia significativa en las precipitaciones de primavera. En la serie climatológica modelada de PISCO se encontró una tendencia significativa en la temperatura media y mínima de verano y primavera. En la temperatura máxima, una tendencia significativa en primavera.

VII. RECOMENDACIONES

Los estudios futuros que consideren un mayor número de estaciones meteorológicas, distribuidas homogéneamente en toda la región de Madre de Dios y estos mejorarían en las tendencias de temperatura y precipitación. Finalmente se requieren de estudios para tener claro los conocimientos sobre las causas de los cambios de la temperatura, es decir si estos podrían estar influenciados con las actividades antropogénicas en la región de Madre de Dios (escala regional y local), así como de la variabilidad de la precipitación. Estos estudios tienen importancia en la región de Madre de Dios.

Se recomienda la creación de una Oficina Descentralizada del SENAMHI en la ciudad de Puerto Maldonado, de modo que pueda facilitar con el requerimiento de la información meteorológica y entre otros temas que son de importancia.

Se recomienda realizar estudios de tendencias en la temperatura y precipitación, deforestación, proceso de urbanización y el cambio de uso de suelo.

Para futuros estudios que utilicen las series climáticas de precipitación y temperatura, se recomienda que en lo posible utilicen las series climáticas observadas; debido a que las series modeladas pueden estar suprimiendo la señal climática.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abarca, M., Acuña, E., Pachas, C., y Silva, J. (2017). *Planeamiento Estratégico de la Provincia de Tambopata - Madre de Dios*. Tesis de Grado. Lima, Peru. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Acuña, D. (2015). *Análisis Multivariado para la generación de Escenarios Climáticos 2040 - 2050 en el Perú*. Tesis de Maestría. Lima, Peru. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Aguilar, C. (2017). *Análisis de tendencias de temperatura y precipitación pluvial en la cuenca del río Ilave*. Tesis de Grado. Puno, Peru. Universidad Nacional del Altiplano.
- Ahrens, D. (2016). *Meteorology Today, An Introduction to Weather, Climate, the Environment*. Cengage Learning.
- Almeida, C., Oliveira, J., Delgado, R., Cubo, P., y Ramos, M. (2016). Spatiotemporal rainfall and temperature trends throughout the Brazilian Legal Amazon, 1973–2013. *International Journal of Climatology*, 37(4), 2013–2026. <https://doi.org/10.1002/joc.4831>
- Alves, L., Santos, C., Querino, S., y Gama, M. (2016). *Tendencia de precipitación zonal, anual de eventos extremos entre 1943 y 2015 en el Alto Rio Acre*. Brasil: Centro Regional de Porto Velho.
- Aybar, C., Lavado, W., Huerta, A., Fernández, C., Vega, F., Sabino, E., y Felipe-Obando, O. (2017). *Uso del Producto Grillado "PISCO" de precipitación en Estudios, Investigaciones y Sistemas Operacionales de Monitoreo y Pronóstico Hidrometeorológico. Nota Técnica 001 SENAMHI-DHI-2017*. Lima: Servicio de Meteorología e Hidrología del Perú.
- Ayllon, T. (2003). *Elementos de meteorología y climatología*. México: Trillas.
- Bazo, J. (2014). *Proyecciones climáticas sobre Perú y su relación con el fenómeno enso*. Tesis de Doctoral. España. Universidad de Vigo.
- Bonan, G. (2008). Forests and Climate Change : Focings feedbacks, and the Climate Benefits of Forests. *Science*, 320(5882), 1444-1449.
- Bonini, I., Rodrigues, C., Dallacort, R., Hur, B. E. N., Junior, M., Antônio, M., y Carvalho, C. (2014). Rainfall and deforestation in the Municipality of Colider, Southern Amazon. *Revista Brasileira de Meteorologia.*, 29(4) 483–493. <https://doi.org/10.1590/0102-778620130665>

- Bradley, R., Diaz, H., Eischeid, J., Jones, P., Kelly, P., y Goodess, C. (1987). Precipitation fluctuations over Northern Hemisphere land areas since the mid-19th century. *Science*, 237(4811), 171–175. <https://doi.org/10.1126/science.237.4811.171>
- Brito, E. (2013). *Climatología y Meteorología*. Mexico: Universidad de Guanajuato.
- Bustamante, M. (2010). *Cambio Climático en el Perú - Amazonía*. Lima: Fundacion Manuel J. Bustamante De La Fuente.
- Caballero, J., Pillaca, M., Roman, F., Silman, M., y Fernandez, L. (2018). *Tres décadas de deforestación por minería aurífera en la Amazonía Suroriental Peruana*. Madre de Dios: Centro de Investigación Científica Amazónica.
- Canziani, P., y Benitez, G. (2012). Climate Impacts of Deforestation/Land-Use Changes in Central South America in the PRECIS Regional Climate Model: Mean Precipitation and Temperature Response to Present and Future Deforestation Scenarios. *TheScientificWorldJournal*, (2012). <https://doi.org/10.1100/2012/972672>
- Castro, D., y Carvajal, Y. (2013). Análisis de tendencia en la precipitación pluvial anual y mensual en el departamento del Valle del Cauca. *Desarrollo Regional*, 11(20), 9–18.
- CMNUCC. (1992). *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático*. Washington: Convencion Marco de las Naciones Unidas.
- Ley N° 30754. (2018). Diario Oficial El Peruano, Perú, Lima, 18 de abril del 2018.
- Espinoza, J., Ronchail, J., Guyot, J. L., Cochonneau, G., Naziano, F, Lavado, W., ...& Vauchel, P. (2009). Spatio-temporal rainfall variability in the Amazon basin countries (Brazil, Perú, Bolivia, Colombia, and Ecuador). *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 29(11), 1574-1594. <https://doi.org/10.1002/joc>
- Espinoza, J., Ronchail, J., Lavado, W., Carranza, J., Cochonneau, G., De Oliveira, E., Guyot, J. (2010). Variabilidad espacio-temporal de las lluvias en la cuenca amazónica y su relación con la variabilidad hidrológica regional. Un enfoque particular sobre la región andina. *Revista Peruana Geo-Atmosférica RPGA*, 130(2), 99–130.
- Espinoza, J., Ronchail, J., Lavado, W., Santini, W., Vauchel, P., Pombosa, R., ... Guyoy, J. (2011). Las recientes sequías en la cuenca amazónica peruana :

- Orígenes climáticos e impactos hidrológicos. *Revista Peruana Geo-Atmosférica RPGA*, 72(3), 63–72.
- Espinoza, J., Ronchail, J., Marengo, J., y Segura, H. (2018). Contrasting North–South changes in Amazon wet-day and dry-day frequency and related atmospheric features (1981–2017). *Climate Dynamics*, 52(9–10), 5413–5430. <https://doi.org/10.1007/s00382-018-4462-2>
- Gloor, M., Barichivich, J., Ziv, G., Brienen, R., Schöngart, J., Peylin, P., ... Baker, J. (2015). Recent Amazon climate as background for possible ongoing and future changes of Amazon humid forests. *Global Biogeochemical Cycles*, 29(9), 1384–1399. <https://doi.org/10.1002/2014GB005080>
- GOREMAD. (2014). *Estrategia Regional de Cambio Climático - Madre de Dios*. Madre de Dios: Gobierno Regional de Madre de Dios.
- Hammer. (2018). Paleontological Statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica* 4(1): 9 pp.
- Huerta, A., Lavado, W., Aybar C. y Sabino, E. (2017). Desarrollo de datos grillados de temperatura diaria en Perú. Lima, Perú: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú.
- IPCC. (2007). *Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. Ginebra, Suiza: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.
- IPCC. (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. United States of America: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.
- IPCC. (2014). *Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. Ginebra: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.
- IPCC. (2017). *El IPCC y el sexto ciclo de evaluación*. Suiza, Ginebra: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.
- Jaagus, J. (2006). Climatic changes in Estonia during the second half of the 20th century in relationship with changes in large-scale atmospheric circulation. *Theoretical and Applied Climatology*, 88(1-4), 77–88.

<https://doi.org/10.1007/s00704-005-0161-0>

- Kundzewicz, W., y Robson, J. (2004). Change detection in hydrological records- a review of the methodology/revue méthodologique de la détection de changements dans les chroniques hydrologiques. *Hydrological sciences journal*, 49(1), 7-19.
- Kendall, M. G. (1975). Rank correlation measures. *Charles Griffin, London*, 202, 15.
- Lacerda, F., Nobre, P., Sobral, M., Lopes, G., Chou, S., Assad, E., y Brito, E. (2015). Long-term Temperature and Rainfall Trends over Northeast Brazil and Cape Verde. *Journal of Earth Science y Climatic Change*, 06(08). <https://doi.org/10.4172/2157-7617.1000296>
- Lavado, W., Fernandez, C., Vega, F., Caycho, T., Endara, S., Huerta, A., y Obando, O. F. (2014). PISCO: Peruvian Interpolated data of the SENAMHI's Climatological and hydrological Observations. *Precipitación 1(0). Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología*, 1–4.
- Lavado, W., Labat, D., Ronchail, J., Espinoza, J. C., y Guyot, J. L. (2013). Trends in rainfall and temperature in the Peruvian Amazon–Andes basin over the last 40 years (1965–2007). *Hydrological Processes*, 27(20), 2944–2957. <https://doi.org/10.1002/hyp.9418>
- Lavado, W., Ronchail, J., Labat, D., Espinoza, J., y Guyot, J. (2012). Basin-scale analysis of rainfall and runoff in Perú (1969–2004): Pacific, Titicaca and Amazonas drainages. *Hydrological Sciences Journal*, 57(4), 625–642. <https://doi.org/10.1080/02626667.2012.672985>
- Lavado, W., Silvestre, E., y Pulache, W. (2010). Tendencias en los extremos de lluvias cerca a la ciudad del Cusco y su relación con las inundaciones de enero del 2010. *Revista Peruana Geo-Atmosférica RPGA*, 98(2), 89–98.
- Layza, R., Gonzales, F., y Teran, J. (2018). La deforestación y el cambio climático en la Provincia de San Martín periodo: 1973 - 2014. *Revista Ciencia y Tecnología*, 14(2), 19–30.
- Li, W., Fu, R., Negro, R., y Fernandes, K. (2008). Observed change of the standardized precipitation index , its potential cause and implications to future climate change in the Amazon region. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 363, 1767–1772. <https://doi.org/10.1098/rstb.2007.0022>
- Luers, L., y Moser, C. (2006). Preparing for the Impacts of Climate Change in

- California: Opportunities and Constraints for Adaptation. *California Climate Change Center White.*
- Malhi, Y., y Wright, J. (2004). Spatial patterns and recent trends in the climate of tropical rainforest regions. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 3598(1443), 311–329. <https://doi.org/10.1098/rstb.2003.1433>
- Mann, B. (1945). Nonparametric tests against trend. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 245-259.
- Marengo, J. (2004). Interdecadal variability and trends of rainfall across the Amazon basin. *Theoretical and Applied Climatology*, 78(1–3), 79–96. <https://doi.org/10.1007/s00704-004-0045-8>
- Marengo, J., y Camargo, C. (2007). Surface air temperature trends in Southern Brazil for 1960-2002. *International Journal of Climatology: Royal Meteorological Society*, 28(7), 893–904. <https://doi.org/10.1002/joc>
- Marengo, J., Jones, R., Alves, L. M., y 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: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 29(15), 2241–2255. <https://doi.org/10.1002/joc>
- Marengo, J., y Tomasella, J. (1998). Trends in streamflow and rainfall in tropical South America: Amazonia, eastern Brazil, and northwestern Perú. *Journal of Geophysical Research*, 103(D2), 1775–1783.
- Martelo, T. (2004). *Consecuencias Ambientales Generales del Cambio Climático en Venezuela*. Venezuela: Universidad Central de Venezuela.
- Martinez, J., Maleski, J., y Miller, 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>
- Mendenhall, W. (2009). *Introducción a la Probabilidad y Estadística*. Estados Unidos: CENGANE Learning.
- Mendez, J., Návar, J., y Gonzales, V. (2008). Análisis de tendencias de precipitación (1920–2004) en México. *Investigaciones Científicas, Boletines Del Instituto de Geografía UNAM*, (65), 38–55.
- Mesias, J. (2015). *Deforestación en el eje vial Iquitos-Nauta y su relación con la variabilidad climática local a través de los años*. Tesis de Maestría. Iquitos, Peru. Universidad Nacional de la Amazonía Peruana.

- Milan, P. (2009). *Apuntes sobre el cambio climático en Nicaragua*. Nicaragua: Pascal Chaput.
- MINAM. (2013). *Memoria del taller informativo “ Adaptación al cambio climático en la Amazonía Peruana”*. Lima, Perú: Ministerio del Ambiente.
- MINAM. (2009). *Cambio Climático y el Desarrollo Sostenible en el Perú*. Lima, Perú: Ministerio del Ambiente.
- Montealegre, J. (2009). *Estudio de la variabilidad climática de la precipitación en Colombia asociada a procesos oceánicos y atmosféricos de meso y gran escala*. Bogota: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- Moraes, E., Franchito, S., y Rao, V. (2013). Amazonian deforestation: impact of global warming on the energy balance and climate. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 52(3), 521-530.
- Munis, L., Marengo, J., Fu, R., y Bombardi, R. (2017). Sensitivity of Amazon Regional Climate to Deforestation. *American Journal of Climate Change*, 6(01), 75-98.
- Norabuena, A. (2014). *Modelo empírico para pronóstico de temperaturas mínimas en periodos de inicio y fin de campaña agrícola*. Tesis de grado. Lima, Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- OMM. (2008). *Informe del grupo de trabajo sobre meteorología agrícola de la AR II*. Ginebra - Suiza: Organización Meteorológica Mundial.
- OMM. (2011). *“Guía de prácticas climatológicas” - OMM - N° 100* (No. OMM-N° 100). Ginebra - Suiza: Organización Meteorológica Mundial.
- OMM. (2017a). *Declaración de la OMM sobre el estado del clima mundial en 2017*. Ginebra - Suiza: Organización Meteorológica Mundial.
- OMM. (2017b). *Directrices de la Organización Meteorológica Mundial sobre la generación de un conjunto definido de productos nacionales de vigilancia del clima*. Ginebra - Suiza: Organización Meteorológica Mundial.
- OMM. (2018). *Estado del clima en 2017: condiciones meteorológicas extremas y efectos devastadores*. Ginebra - Suiza: Organización Meteorológica Mundial.
- Oñate, F., y Bosque, J. (2011). Estudio de tendencias climáticas y generación de escenarios regionales de cambio climático en una cuenca hidrográfica binacional en América del Sur. *Estudios Geográficos*, 72(270), 147–172. <https://doi.org/10.3989/estgeogr.201107>

- Orozco, O., Escobar, Y., y Angel, M. (2011). Estudio de tendencias de la precipitación mensual en la Cuenca Alta - Media del río Cauca, Colombia. *Dyna*, 78(169), 112-120.
- Pabon, D. (1997). Técnicas agrometeorológicas en la agricultura operativa de América Latina. Organización Meteorológica Mundial.
- Pedron, I., Silva Dias, M., Dias, S., Carvalho, L., y Freitas, E. (2016). Trends and variability in extremes of precipitation in Curitiba – Southern Brazil. *International Journal of Climatology*, 37(3), <https://doi.org/10.1002/joc.4773>
- Pettitt, A. N. (1979). A non-parametric approach to the change-point problem. *Journal of the Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics)*, 28(2), 126-135.
- Pielke, R., Pitman, A., Niyogi, D., Mahmood, R., Mcalpine, C., Hossain, F., ... Betts, R. (2011). Land use / land cover changes and climate: modeling analysis and observational evidence. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 2(6), 828-850.
- Pierce, D. (2017). *Interface to Unidata netCDF (Version 4 or Earlier) format data files. R package version 1.16*. Retrieved from <https://cran.r-project.org/package=ncdf4>
- Pohlert, T. (2018). *Trend: Non-Parametric Trend Tests and Change-Point Detection. R package version 1.1.1*.
- Primo, A. (2015). *Variabilidad de la Temperatura y de la Precipitación, en la ciudad de Toluca, Estado de México. Periodo: 1970-2013*. Tesis de Maestría. Mexico. Universidad Autónoma del Estado de México.
- R Core Team. (2016). *R: A language and environment for statistical computing*. Retrieved from <https://www.r-project.org/>
- Ramirez, Y. (2015). *Saberes ancestrales sobre indicadores de los hombres y mujeres indígenas amazónicos*. Madre de Dios: Asociación para la Investigación y Desarrollo Integral.
- Reyes, V. (2016). Iniciación a la Meteorología y Climatología. *Revista de Investigación*, 40(87), 295-298.
- Renom, M. (2009). *Temperaturas extremas en Uruguay. Análisis de la variabilidad temporal de baja frecuencia y su relación con la circulación de gran escala*. Tesis Doctoral. Argentina. Universidad de Buenos Aires.
- Rodionov, S. (2005). *A brief overview of the regime shift detection*

- methods. Large-scale disturbances (regime shifts) and recovery in aquatic ecosystems: challenges for management toward sustainability.* Washington.
- Salas, E. (2014). *Análisis de tendencia de la temperatura y precipitación pluvial mensual en la cuenca del río Illpa, Puno.* Tesis de Grado. Puno, Peru. Universidad Nacional del Altiplano.
- Salazar, A., Baldi, G., Hirota, M., Syktus, J., y Mcalpine, C. (2015). Land use and land cover change impacts on the regional climate of non-Amazonian South America: A review. *Global and Planetary Change*, 128, 103–119. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2015.02.009>
- Salazar, A., Nobre, C., y Oyama, M. (2007). Climate change consequences on the biome distribution in tropical South America. *Geophysical Research Letters*, 34(9). <https://doi.org/10.1029/2007GL029695>
- Salviano, M., Groppo, J., y Pellegrino, G. (2016). Análise de tendências em dados de precipitação e temperatura no Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 31(1), 64–73. <https://doi.org/10.1590/0102-778620150003>
- Santos, D. (2017). *Caracterización hidrológica de la región de Madre de Dios.* Lima, Perú: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú.
- Satyamurty, P., de Castro, A., Tota, J., Guluarte, L., y Manzi, A. (2010). Rainfall trends in the Brazilian Amazon Basin in the past eight decades. *Theoretical and Applied Climatology*, 99(1–2), 139–148. <https://doi.org/10.1007/s00704-009-0133-x>
- SENAMHI. (2008). *Variación de la temperatura máxima anual para el año 2030.* Lima, Perú: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú.
- SENAMHI. (2009a). *Escenarios Climáticos en el Perú.* Lima, Perú: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú.
- SENAMHI. (2009b). *Indicadores de cambio climático y proyecciones futuras en la cuenca del río Mantarro.* Lima, Perú: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú.
- SENAMHI. (2012). *Mapa de clasificación climática del Perú.* Lima, Perú: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú.
- SENAMHI. (2015a). *En la selva preparémonos para la llegada de los friajes.* Lima, Perú: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú.
- SENAMHI. (2015b). *Caracterización de climática de la Región Madre de Dios para el Proyecto: “Gestión integrada de cambio climático en las reservas*

- comunales en la Amazonía-Eba Amazonía*. Lima, Perú: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú.
- SENAMHI. (2018). *Monitoreo de las temperaturas extremas del aire a nivel nacional durante la temporada de bajas temperaturas 2018*. Lima, Perú: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú.
- Seoane, R. (2015). *Modelos probabilísticos y estimación de la incertidumbre en procesos hidrológicos*. Tesis Doctoral. Universidad da Coruña-Instituto Universitario de Xeoloxia.
- Silva, C., Almeida, C., Santos, J., Anderson, L., Aragão, L., y Silva, F. (2018). Spatiotemporal rainfall trends in the Brazilian legal Amazon between the years 1998 and 2015. *Water*, 10(9), 1–16. <https://doi.org/10.3390/w10091220>
- Tabari, H., Marofi, S., y Ahmadi, M. (2011). Long-term variations of water quality parameters in the Maroon River, Iran. *Environmental Monitoring and Assessment*, 177(1-4), 273-287
- Tapia, D. (2016). *Estructura de la precipitación y su variabilidad espacio-temporal a lo largo de una gradiente altitudinal*. Tesis de Grado. Ecuador. Universidad de Cuenca.
- Tarazona, Y. (2015). *Predicción de tierras degradadas a partir del análisis de series temporales del índice mejorado de vegetación y temperatura de superficie de suelo mediante imágenes MODIS - caso estudio Piura*. Tesis de pregrado. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.
- RStudio Team (2015). RStudio: Integrated Development for R. RStudio, Inc., Boston, MA URL <http://www.rstudio.com/>.
- Torres, J., y Gómez, A. (2008). *Adaptación al cambio climático: de los fríos y los calores en los Andes*. Lima.
- Valeriano, E. (2018). *Comportamiento del caudal y la precipitación en la cuenca de los ríos Tarma y Tulumayo por efecto de la incursión de frentes fríos - friajes*. Tesis de Grado. Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima, Perú.
- Varotsos, C., Efstathiou, M., y Christodoulakis, J. (2018). Abrupt changes in global tropospheric temperature. *Atmospheric Research*, 217, 114-119.
- Vergara, S., y Espinoza, C. (2015). *Eventos hidrológicos extremos en la Amazonía peruana: Sistema de Alerta Cualitativo para la Previsión*. Lima: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú.

- Vincent, L., Peterson, T., Barros, V., Marino, M., Rusticucci, M., Carrasco, G., ... KarolyD. (2005). Observed Trends in Indices of Daily Temperature Extremes in South America 1960 – 2000. *Journal of climate*, 18(23), 5011-5023.
- Wang, X., Li, X., Zhu, J., y Tanajura, C. (2018). The strengthening of Amazonian precipitation during the wet season driven by tropical sea surface temperature forcing. *Environmental Research Letters*, 13(9), 094015.
- Zubieta, R., Saavedra, M., Espinoza, J., Ronchail, J., Sulca, J., Drapeau, G., y Vide, J. (2019). Assessing precipitation concentration in the Amazon basin from different satellite-based data sets. *International Journal of Climatology*, 39(7), 1–17. <https://doi.org/10.1002/joc.6009>

Páginas Web visitadas:

1. <https://bit.ly/1VnuWp6>: Población y vivienda del Instituto Nacional de Estadística e Informática. Población del departamento de Madre de Dios.
2. <https://bit.ly/2OgLngR>: Población total estimada a nivel de provincias en el departamento de Madre de Dios.
3. <https://bit.ly/2FyxDVS>: Mapa de clasificación climática del Perú.
4. <https://bit.ly/2JvEd3d>: Red de estaciones a nivel nacional.
5. <https://www.senamhi.gob.pe/?p=observacion-de-inundaciones>: Descarga de datos modelados de PISCO. Herramientas de Sistema de Observación de Inundaciones Potenciales del Senamhi.

ANEXOS

Anexo 1: códigos para la extracción de información climatológica modelada de temperatura y precipitación de PISCO.

Descargar datos PISCO de: <http://www.senamhi.gob.pe/?p=observacion-de-inundaciones>

1. Bajar de preferencia los datos de la carpeta PISCO_v2.0

```
#ftp://ftp.senamhi.gob.pe/PISCO_v2.0/ ## PISCO_Pd_v2.0 son diarios y #  
PISCO_Pm_v2.0 son mensuales
```

2. Este ejemplo es para los datos mensuales PISCOpm.nc

```
rm(list = ls()) install.packages("raster")#Instalar el paquete comentar # si ya  
está instalado install.packages("ncdf4")#Instalar el paquete comentar # si ya  
está instalado library(raster)#cargar el paquete library(ncdf4)#cargar el  
paquete
```

3. Leer el archivo long_lat.csv (ver el archivo ejemplo) para agregar solo disminuya o incremente las coordenadas de las filas XX Longitud e YY Latitud

```
long_lat <- read.csv("long_lat.csv", header = T)
```

4. Ensamblamos los datos *.nc raster_pp <- raster::brick("PISCOpm.nc")

5. Asignamos las coordenadas

```
sp::coordinates(long_lat) <- ~XX+YY
```

6. Igualamos las proyecciones del raster y de los puntos a extraer

```
raster::projection(long_lat) <- raster::projection(raster_pp)
```

7. Extraemos los valores

```
points_long_lat <- raster::extract(raster_pp[[1]], long_lat, cellnumbers = T)[,1]  
data_long_lat <- t(raster_pp[points_long_lat]) colnames(data_long_lat) <-  
as.character(long_lat$NN)
```

8. Guardamos los datos como "data_long_lat.csv" Ud puede cambiar el nombre

9. Las filas son los datos mensuales en este caso y las columnas son los puntos seleccionados

```
write.csv(data_long_lat, "data_long_lat.csv", quote = F)
```

The image shows a screenshot of the RStudio interface. The main editor window contains R code for processing spatial data. The code reads a CSV file, creates a raster, projects it, and extracts data into a data frame. The console window shows the execution of these commands. On the right, the Environment pane shows the objects created, including a raster and a data frame. Below it, the Files pane shows a directory listing of files created during the process.

```

22
23 ## Leer el archivo long_lat.csv (ver el archivo ejemplo)
24 ## para agregar solo diámetro o incrementar las coordenadas de las filas
25 ## XX longitud e YY Latitud
26 long_lat <- read.csv("long_lat.csv", header = T)
27
28 ## Ensamblamos los datos *.nc
29 raster_pp <- raster::brick("PISCOpp.nc")
30
31 ## Asignamos las coordenadas
32 sp::coordinates(long_lat) <- ~XX-YY
33
34 # Igualamos las proyecciones del raster y de los puntos a extraer
35 raster::projection(long_lat) <- raster::projection(raster_pp)
36
37 # Extraemos los valores
38 points_long_lat <- raster::extract(raster_pp[[]], long_lat, cellnumbers = T)[,1]
39 data_long_lat <- t(raster_pp[points_long_lat])
40 colnames(data_long_lat) <- as.character(long_lat$X)
41
42 # Guardamos los datos como "data_long_lat.csv" (si puede cambiar el nombre
43 # Las Filas son los datos mensuales en este caso y las columnas son los puntos seleccionados
44 # Ojo que el orden esta de acuerdo al archivo long_lat.csv, de la columna de
45 write.csv(data_long_lat, "data_long_lat.csv", quote = F)
46
47

```

Environment

Object	Class	Attributes
data_long_lat	matrix	[1:432, 1:92] 101.116 246.311 342.009 7.643
long_lat	Formal class 'SpatialPointsDataFrame'	
raster_pp	Formal class 'RasterBrick'	
points_long_lat	matrix	[1:92] 70860 70057 70592 70585 71113 ...

Files

Name	Size	Modified
AClata	83 KB	Feb 18, 2016, 4:27 PM
Alottery	142 KB	Aug 22, 2016, 12:49 PM
01_datos extraidos de PISCO		
out_longPISCOpoints.R	13 KB	Aug 11, 2016, 2:00 PM
data_long_lat_pem1.csv	43 KB	Jan 25, 2016, 10:07 AM
long_lat_pem1.csv	37 B	Aug 22, 2016, 11:31 AM
long_MtCbr	25 KB	Feb 12, 2016, 2:35 PM
long_MT		
long_lat_pem2.csv	62 B	Aug 22, 2016, 4:12 PM
long_lat_pem4.csv	37 B	Feb 18, 2016, 2:59 PM
PISCO_data.Rproj	218 B	Nov 26, 2016, 4:14 PM
PISCO-DMA-v1.2.nc	171.1 MB	Aug 22, 2016, 5:54 PM
PISCO-DMA-v1.0.nc	171.1 MB	Aug 22, 2016, 5:04 PM
PISCOpp.nc	176 MB	Aug 21, 2016, 4:41 PM
data_long_lat.csv	436.7 KB	Nov 26, 2016, 4:17 PM

Anexo 2: Códigos utilizando el programa estadístico R en entorno de R-studio, para el análisis de tendencias (mk.test) y el punto de cambio test de Pettitt's.

```
#importar de R datos de temperatura

library(trend)

Tmean_SENA <- read.delim("clipboard", row.names = 1) #importar datos de
excel antes copiados Tmean_SENA <- save(Tmean_SENA, file =
"Tmean_SENA.Rdata") #guardar los datos en un archivo de R "Rdata"

load("Tmean_SENA.Rdata")

Tmean_SENA_anual <- Tmean_SENA[, "ANUAL"] View(Tmean_SENA_anual)

mk.test(Tmean_SENA_anual) #tendencia - Kendall

#Análisis de tendencias mensuales mk.test(Tmean_SENA$ENE) #tendencia -
Kendall pettitt.test(Tmean_SENA$ENE) #test de Pettitt's

mk.test(Tmean_SENA$FEB) #tendencia - Kendall
pettitt.test(Tmean_SENA$FEB) #test de Pettitt's

mk.test(Tmean_SENA$MAR) #tendencia - Kendall
pettitt.test(Tmean_SENA$MAR) #test de Pettitt's

mk.test(Tmean_SENA$ABR) #tendencia - Kendall
pettitt.test(Tmean_SENA$ABR) #test de Pettitt's

mk.test(Tmean_SENA$MAY) #tendencia - Kendall
pettitt.test(Tmean_SENA$MAY) #test de Pettitt's

mk.test(Tmean_SENA$JUN) #tendencia - Kendall
pettitt.test(Tmean_SENA$JUN) #test de Pettitt's

mk.test(Tmean_SENA$JUL) #tendencia - Kendall
pettitt.test(Tmean_SENA$JUL) #test de Pettitt's

mk.test(Tmean_SENA$AGO) #tendencia - Kendall
pettitt.test(Tmean_SENA$AGO) #test de Pettitt's

mk.test(Tmean_SENA$SET) #tendencia - Kendall
pettitt.test(Tmean_SENA$SET) #test de Pettitt's

mk.test(Tmean_SENA$OCT) #tendencia - Kendall
pettitt.test(Tmean_SENA$OCT) #test de Pettitt's

mk.test(Tmean_SENA$NOV) #tendencia - Kendall
pettitt.test(Tmean_SENA$NOV) #test de Pettitt's

mk.test(Tmean_SENA$DIC) #tendencia - Kendall
pettitt.test(Tmean_SENA$DIC) #test de Pettitt's

#Test de pettitt ANUAL pettitt.test(Tmean_SENA_anual) #test de Pettitt's

anual <- precipitacion[, "ANUAL"] View(anual)

mk.test(anual)
```

```
anual <- precipitac[,"ANUAL"]  
str(anual)  
mk.test(anual)  
save("anual",file="preci_anual2.RData")  
save(anual,file="preci_anual2.rdata")
```

The image shows an RStudio interface with three main panels: Source, Environment, and Console.

Source Panel: Contains R code for importing data from a clipboard, saving it to a file named 'Tmean_SENA.Rdata', loading it back, and performing a Mann-Kendall trend test on the 'Tmean_SENA_anoal' variable. The code includes comments in Spanish and R functions like `read.delim`, `save`, `load`, `library(trend)`, `nk.test`, and `pettitt.test`.

```

1 #Importar de R datos de temperatura
2
3 library(trend)
4
5 Tmean_SENA <- read.delim("clipboard", row.names = 1) #Importar datos de excel antes copiados
6 Tmean_SENA <- save(Tmean_SENA, file = "Tmean_SENA.Rdata") #guardar los datos en un archivo de R "Rdata"
7
8 load("Tmean_SENA.Rdata")
9
10 Tmean_SENA_anoal <- Tmean_SENA[, "ANUAL"]
11 View(Tmean_SENA_anoal)
12
13 nk.test(Tmean_SENA_anoal) #tendencia - kendall
14
15 #analisis de tendencias semanales
16 nk.test(Tmean_SENA$ENE) #tendencia - kendall
17 pettitt.test(Tmean_SENA$ENE) #test de Pettitt's
18
19 nk.test(Tmean_SENA$FEB) #tendencia - kendall
20 pettitt.test(Tmean_SENA$FEB) #test de Pettitt's
21
22 nk.test(Tmean_SENA$MAR) #tendencia - kendall
23 pettitt.test(Tmean_SENA$MAR) #test de Pettitt's
24
25 nk.test(Tmean_SENA$ABR) #tendencia - kendall
26
27 (Optional)

```

Environment Panel: Lists loaded data objects: `clim` (205 obs. of 3 variables), `data` (138 obs. of 2 variables), `data.jorge` (72 obs. of 2 variables), `richs_peces` (112 obs. of 4 variables), `richs_peces1` (112 obs. of 6 variables), and `Tmean_SENA` (37 obs. of 14 variables). It also shows the values for `names` and `Tmean_SENA_anoal`.

Console Panel: Shows the output of the `nk.test` function, indicating a significant trend.

```

> library(trend)
> load("Tmean_SENA.Rdata")
> Tmean_SENA_anoal <- Tmean_SENA[, "ANUAL"]
> View(Tmean_SENA_anoal)
> nk.test(Tmean_SENA_anoal) #tendencia - kendall

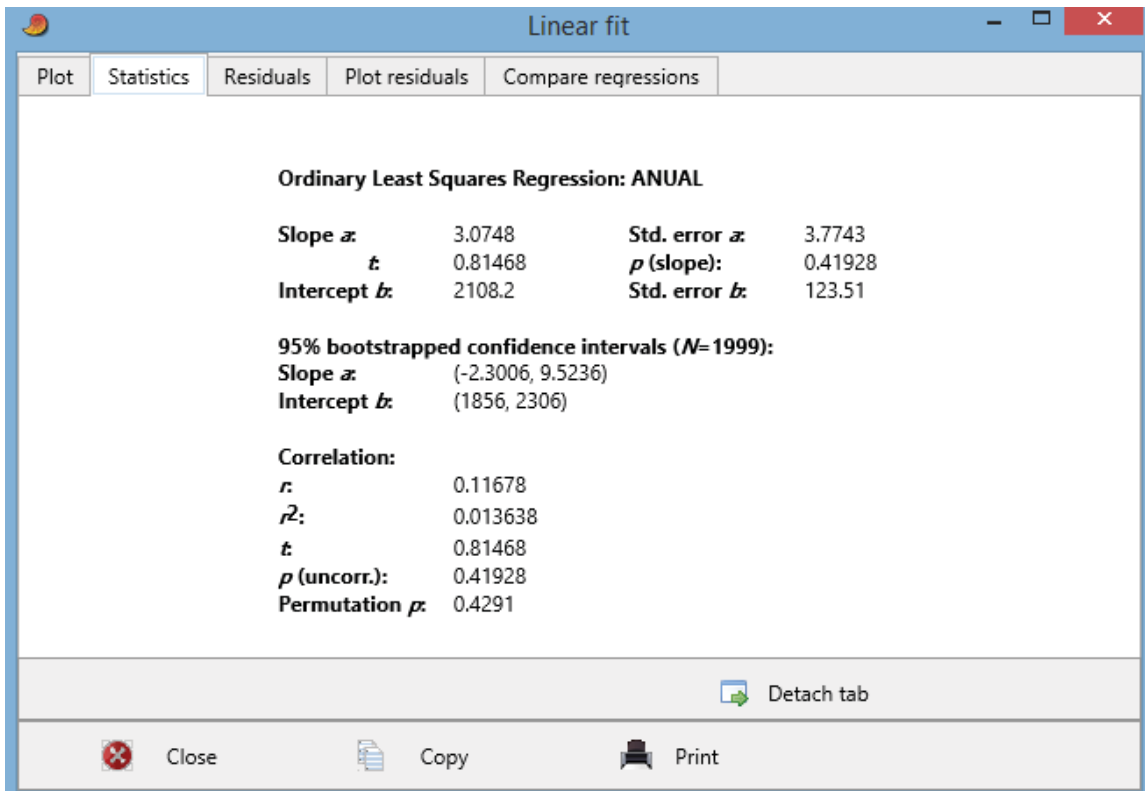
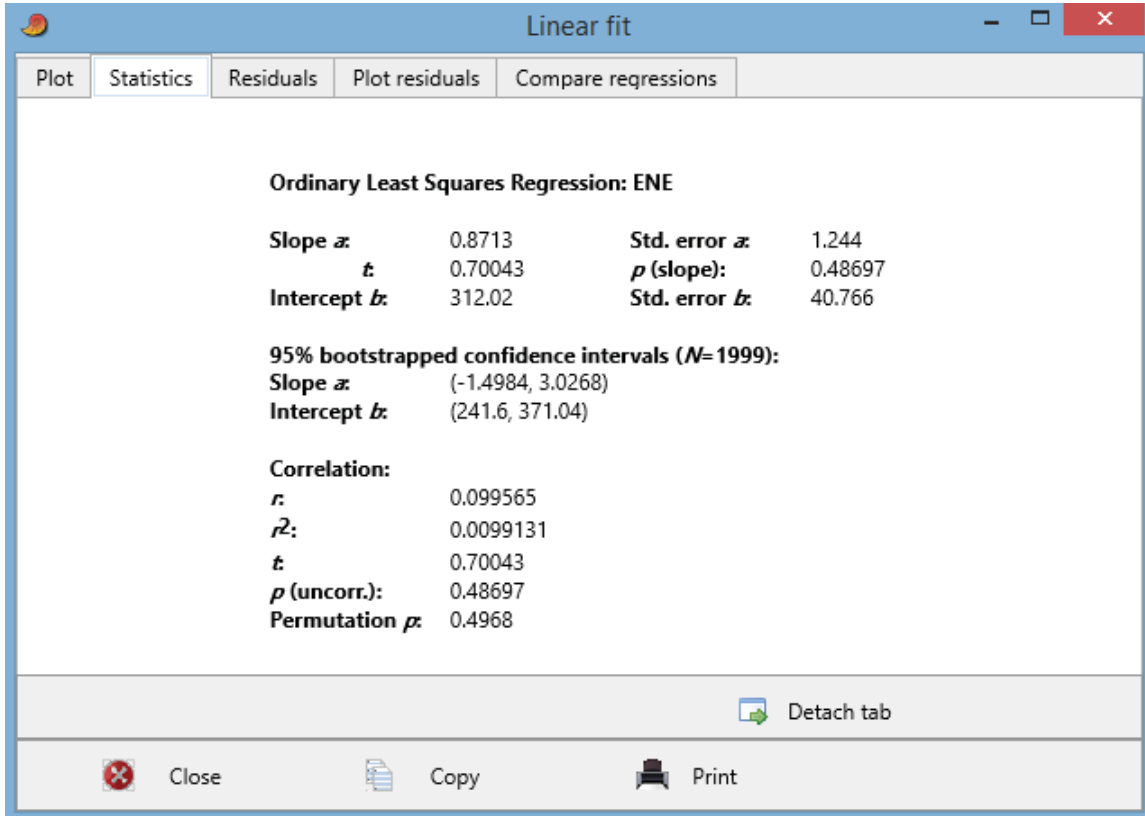
Mann-Kendall trend test

data: Tmean_SENA_anoal
z = 2.7951, n = 37, p-value = 0.005189
alternative hypothesis: true S is not equal to 0
sample estimates:
      S      varS      tau
214.0000000 5807.3333333  0.3272722
>

```

Files Panel: A file explorer showing a directory of files, including `Rdata`, `RData$trp`, `RHistory`, `Rproj.user`, `Codage_GPLDTE_Estimates.R`, and several `Pec_` files (e.g., `Pec_ABR_SENAMH.Rdata`, `Pec_AGO_SENAMH.Rdata`, etc.) with their sizes and modification dates.

Anexo 3: Resultados del análisis de regresión lineal utilizando el programa estadístico PAST.



Anexo 4: Evaluación de los supuestos paramétricos de la deforestación vs los elementos climatológicos, utilizando el programa estadístico de PAST.

Tests for normal distribution					
	Deforestación acumu	Tmaxima	Minima	Tmedia	precipitacion
N	17	17	17	17	16
Shapiro-Wilk W	0.9019	0.9547	0.928	0.9411	0.9626
p(normal)	0.07304	0.535	0.2015	0.332	0.7083
Anderson-Darling A	0.5518	0.3534	0.4699	0.4754	0.24
p(normal)	0.1312	0.4217	0.2156	0.2086	0.7336
p(Monte Carlo)	0.1319	0.4372	0.2232	0.2175	0.7617
Jarque-Bera JB	1.782	0.8304	1.358	1.757	0.3246
p(normal)	0.4102	0.6602	0.5072	0.4154	0.8502
p(Monte Carlo)	0.1367	0.4931	0.2328	0.1426	0.8357

Anexo 5. Datos climatológicos de temperatura media

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1981	26.41	26.06	26.09	26.12	24.91	24.22	23.51	24.41	24.96	26.07	26.09	26.24	25.42
1982	26.52	26.42	26.72	25.95	24.85	24.93	25.10	24.54	25.09	24.93	23.20	25.16	25.29
1983	26.39	23.96	25.31	26.43	24.72	25.28	25.27	24.71	24.45	25.38	26.37	26.27	25.38
1984	25.18	25.18	25.95	25.10	24.63	22.49	23.28	23.58	25.56	26.65	25.59	26.32	24.96
1985	25.38	25.35	26.19	25.15	25.05	23.02	23.85	23.95	25.66	26.76	26.22	26.27	25.24
1986	25.93	24.82	25.45	25.43	24.57	23.60	22.96	24.20	24.16	25.23	25.98	26.45	24.90
1987	25.92	26.26	26.07	25.28	22.76	22.43	25.25	24.07	25.57	26.51	26.73	26.62	25.29
1988	26.44	26.40	26.15	25.87	23.23	22.13	21.45	25.45	25.52	26.68	26.58	26.08	25.17
1989	25.35	25.89	25.08	25.00	23.18	23.66	21.80	24.89	24.73	25.99	26.30	25.62	24.79
1990	26.00	26.03	26.33	25.55	24.05	22.95	21.30	24.86	24.53	26.25	26.43	25.60	24.99
1991	26.42	26.39	26.53	26.27	25.69	23.22	22.67	24.30	24.65	25.72	25.39	26.36	25.30
1992	26.04	25.61	25.31	25.67	25.46	23.84	21.91	23.32	24.46	26.62	26.00	26.29	25.04
1993	25.61	26.11	26.03	25.76	24.72	23.96	23.41	23.31	25.35	26.84	26.52	27.02	25.39
1994	26.71	26.16	26.38	25.77	25.45	24.21	23.38	25.06	25.62	26.51	26.69	26.51	25.70
1995	26.52	25.91	26.47	25.88	24.06	23.05	24.47	25.04	25.29	26.18	26.38	25.61	25.40
1996	25.00	25.96	26.02	25.61	24.39	20.27	21.97	25.21	24.94	25.72	25.45	25.84	24.70
1997	25.68	25.39	25.25	25.11	23.69	24.70	23.74	24.25	26.25	27.46	26.83	27.38	25.48
1998	27.94	27.33	26.79	26.61	24.51	22.06	24.36	26.17	25.89	26.90	25.82	25.53	25.83
1999	25.38	25.51	25.94	25.51	24.40	22.84	22.83	24.29	25.07	26.38	25.21	25.84	24.93
2000	25.62	25.54	25.44	25.46	24.42	23.84	22.37	24.67	24.93	26.15	25.90	26.12	25.04
2001	25.13	24.88	25.91	25.49	24.32	21.39	23.58	24.41	25.55	26.78	26.48	25.64	24.96
2002	25.83	25.48	26.29	25.58	25.37	23.00	22.97	24.95	25.48	26.37	26.12	26.45	25.33
2003	26.32	26.11	25.98	25.27	24.67	24.37	23.11	23.82	24.52	26.62	26.66	26.77	25.35
2004	25.96	26.09	26.52	25.95	22.94	23.08	23.20	23.92	25.40	26.69	26.92	26.82	25.29
2005	26.90	26.58	26.67	25.79	25.16	24.34	23.86	24.78	25.26	26.19	26.70	26.72	25.75
2006	25.92	26.80	27.28	25.89	23.59	24.45	24.02	25.99	25.63	27.17	26.25	27.41	25.87
2007	27.00	26.82	26.14	25.90	24.30	23.32	23.94	24.67	26.40	26.22	25.73	26.57	25.58
2008	26.43	26.40	25.65	25.05	23.57	22.95	23.93	25.13	25.27	27.01	25.76	25.91	25.25
2009	25.94	26.17	25.97	25.94	24.51	23.39	23.46	24.46	25.82	27.11	25.59	27.19	25.46
2010	26.78	27.17	27.03	26.27	25.07	24.20	22.77	24.77	26.38	26.39	26.13	26.63	25.80
2011	25.82	25.39	26.11	25.67	24.74	23.80	23.61	24.19	26.05	25.67	27.29	26.56	25.41
2012	25.95	25.24	25.87	26.09	24.91	23.71	22.86	23.17	25.16	26.08	27.10	26.69	25.24
2013	26.51	26.05	26.48	25.95	25.16	24.47	23.17	23.27	25.23	26.57	26.52	27.21	25.55
2014	26.08	25.30	26.05	25.70	24.92	24.30	23.24	24.59	26.69	27.11	26.05	26.59	25.55
2015	25.52	25.88	26.59	25.81	24.78	24.28	23.45	24.46	27.17	27.83	27.18	27.10	25.84
Promedio	26.07	25.90	26.12	25.71	24.48	23.48	23.32	24.48	25.39	26.42	26.18	26.38	25.33

Anexo 6. Datos climatológicos de temperatura máxima

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1981	31.55	30.88	30.41	31.17	29.56	29.85	30.86	31.08	31.42	31.56	30.92	31.11	30.86
1982	31.80	31.17	32.16	31.50	31.28	31.75	31.73	31.35	30.93	29.32	25.09	28.14	30.52
1983	30.96	26.72	30.26	31.55	29.08	34.09	32.17	31.49	30.15	30.78	32.13	30.48	30.82
1984	29.23	29.44	30.47	29.66	29.50	27.23	28.97	29.96	31.83	31.69	29.25	30.38	29.80
1985	28.90	29.59	30.06	29.27	30.33	29.54	30.06	30.53	31.40	32.59	31.11	31.00	30.37
1986	30.42	28.18	29.32	29.74	28.88	29.35	29.67	29.45	29.98	31.36	31.67	31.28	29.94
1987	30.02	31.29	31.64	30.04	28.10	28.10	31.42	30.22	32.02	31.87	31.52	31.17	30.62
1988	31.26	30.94	30.90	30.32	27.72	27.90	28.36	31.86	31.25	32.40	32.00	30.57	30.46
1989	29.36	30.36	29.30	30.04	28.87	29.22	28.82	31.98	31.30	31.87	31.70	29.80	30.22
1990	30.51	30.37	31.04	30.47	29.05	28.48	27.25	31.14	30.48	31.05	31.35	29.79	30.08
1991	30.70	30.91	30.74	30.83	29.95	29.02	29.95	30.49	30.98	31.60	29.77	31.13	30.50
1992	30.73	29.98	30.42	30.78	30.90	29.02	28.41	28.87	29.10	31.32	30.53	30.48	30.04
1993	29.90	31.08	30.74	30.19	29.42	29.63	29.24	29.54	30.85	31.78	30.74	31.44	30.38
1994	30.96	30.44	31.01	30.52	30.25	29.78	29.26	31.83	31.23	31.36	31.62	30.71	30.75
1995	31.07	30.70	31.41	31.17	29.59	28.96	30.56	31.52	31.78	31.73	31.65	29.97	30.84
1996	28.90	30.72	30.54	29.93	28.52	25.08	27.65	30.88	30.54	30.50	30.12	30.00	29.45
1997	29.94	29.66	29.81	30.08	28.30	30.13	30.68	29.78	32.19	32.60	31.74	31.94	30.57
1998	32.89	31.65	31.46	30.91	30.56	27.89	31.31	32.53	32.24	32.28	29.98	29.55	31.10
1999	29.48	29.71	29.89	30.51	28.91	27.94	29.39	31.15	30.99	32.44	29.92	30.05	30.03
2000	29.92	30.05	29.43	30.50	28.90	29.39	28.32	30.42	30.59	31.82	30.76	30.61	30.06
2001	29.11	28.58	29.88	30.74	28.85	27.27	29.26	31.80	31.09	32.15	31.31	29.80	29.99
2002	30.20	29.09	30.41	29.97	30.31	28.58	28.25	31.42	30.85	31.47	30.86	30.61	30.17
2003	30.60	30.26	30.12	29.75	29.20	29.81	29.46	29.47	30.31	32.59	32.08	31.21	30.41
2004	30.11	31.12	31.58	30.58	27.22	28.52	28.65	29.89	31.12	31.98	32.14	31.31	30.35
2005	31.61	31.13	31.62	30.39	30.68	29.40	30.01	31.91	31.15	31.01	31.73	31.25	30.99
2006	30.27	31.28	32.31	30.35	28.54	29.36	31.67	32.37	31.69	32.04	30.78	32.42	31.09
2007	31.74	31.48	30.70	30.42	28.73	28.96	29.85	31.34	32.77	30.95	30.58	31.45	30.75
2008	31.17	31.20	30.62	29.79	28.63	28.74	30.33	31.68	31.55	32.45	30.42	30.17	30.56
2009	30.99	30.44	30.99	31.07	29.10	29.50	29.14	31.25	32.02	32.73	28.74	32.03	30.67
2010	31.43	31.24	32.35	31.12	29.84	30.21	28.59	31.66	33.53	31.81	31.15	31.57	31.21
2011	30.50	29.40	30.61	30.25	29.72	29.31	30.29	30.55	32.16	30.10	33.17	31.38	30.62
2012	30.69	29.30	31.09	30.85	30.20	29.61	29.80	30.07	31.95	30.99	32.05	31.00	30.63
2013	31.29	30.16	31.26	31.31	29.86	29.25	29.44	28.92	32.31	31.57	31.35	32.02	30.73
2014	29.99	28.66	30.66	30.14	29.33	29.54	28.70	31.28	32.88	32.61	30.49	31.00	30.44
2015	29.32	30.40	31.11	30.19	28.91	29.64	29.71	31.00	34.23	34.07	32.22	32.03	31.07
Promedio	30.50	30.22	30.75	30.46	29.34	29.14	29.63	30.88	31.45	31.73	30.93	30.82	30.49

Anexo 7. Datos climatológicos de temperatura mínima

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1981	21.28	21.25	21.76	21.07	20.26	18.59	16.16	17.75	18.49	20.59	21.27	21.36	19.99
1982	21.25	21.67	21.29	20.39	18.43	18.12	18.47	17.74	19.25	20.54	21.31	22.18	20.05
1983	21.83	21.21	20.36	21.32	20.37	16.47	18.37	17.93	18.75	19.98	20.60	22.06	19.94
1984	21.12	20.92	21.43	20.53	19.77	17.75	17.60	17.20	19.28	21.60	21.94	22.25	20.12
1985	21.85	21.11	22.32	21.04	19.78	16.51	17.64	17.37	19.92	20.93	21.33	21.54	20.11
1986	21.45	21.46	21.58	21.11	20.26	17.85	16.26	18.94	18.33	19.10	20.29	21.63	19.85
1987	21.82	21.23	20.50	20.52	17.41	16.75	19.08	17.93	19.12	21.15	21.93	22.07	19.96
1988	21.62	21.85	21.40	21.42	18.73	16.36	14.53	19.05	19.80	20.97	21.17	21.58	19.87
1989	21.34	21.43	20.87	19.96	17.49	18.10	14.78	17.80	18.16	20.10	20.90	21.44	19.37
1990	21.48	21.70	21.62	20.62	19.04	17.42	15.35	18.58	18.58	21.45	21.52	21.42	19.90
1991	22.14	21.88	22.32	21.70	21.43	17.42	15.39	18.11	18.32	19.85	21.02	21.60	20.10
1992	21.34	21.24	20.20	20.57	20.02	18.65	15.41	17.77	19.82	21.92	21.47	22.11	20.04
1993	21.32	21.13	21.33	21.33	20.03	18.28	17.58	17.09	19.86	21.90	22.30	22.59	20.39
1994	22.46	21.87	21.74	21.02	20.64	18.63	17.50	18.29	20.01	21.67	21.76	22.32	20.66
1995	21.96	21.13	21.52	20.59	18.52	17.15	18.37	18.56	18.81	20.63	21.11	21.26	19.97
1996	21.09	21.21	21.49	21.30	20.26	15.45	16.28	19.54	19.34	20.94	20.78	21.68	19.95
1997	21.42	21.12	20.68	20.14	19.07	19.26	16.80	18.72	20.31	22.32	21.92	22.82	20.38
1998	23.00	23.01	22.13	22.31	18.45	16.23	17.40	19.80	19.55	21.52	21.65	21.50	20.55
1999	21.29	21.31	22.00	20.51	19.90	17.74	16.26	17.44	19.14	20.31	20.51	21.63	19.84
2000	21.32	21.02	21.45	20.42	19.95	18.29	16.42	18.92	19.28	20.47	21.04	21.62	20.02
2001	21.14	21.19	21.95	20.24	19.79	15.51	17.91	17.02	20.02	21.41	21.64	21.49	19.94
2002	21.45	21.88	22.17	21.19	20.44	17.43	17.69	18.49	20.10	21.28	21.38	22.28	20.48
2003	22.04	21.95	21.83	20.79	20.14	18.92	16.77	18.16	18.73	20.65	21.25	22.33	20.30
2004	21.81	21.07	21.47	21.32	18.67	17.64	17.76	17.94	19.67	21.40	21.70	22.32	20.23
2005	22.18	22.03	21.71	21.19	19.64	19.28	17.72	17.65	19.37	21.37	21.66	22.19	20.50
2006	21.57	22.31	22.25	21.43	18.63	19.55	16.36	19.61	19.58	22.29	21.71	22.40	20.64
2007	22.26	22.16	21.59	21.37	19.88	17.68	18.02	18.01	20.04	21.48	20.87	21.68	20.42
2008	21.69	21.59	20.67	20.31	18.51	17.15	17.52	18.58	18.98	21.56	21.10	21.64	19.94
2009	20.89	21.90	20.94	20.81	19.92	17.28	17.78	17.67	19.63	21.50	22.43	22.35	20.26
2010	22.14	23.11	21.71	21.42	20.30	18.18	16.95	17.88	19.24	20.97	21.11	21.69	20.39
2011	21.15	21.39	21.60	21.09	19.76	18.29	16.93	17.83	19.94	21.24	21.41	21.73	20.20
2012	21.21	21.18	20.64	21.34	19.63	17.80	15.92	16.27	18.38	21.17	22.15	22.38	19.84
2013	21.74	21.94	21.70	20.59	20.46	19.70	16.90	17.62	18.15	21.58	21.70	22.40	20.37
2014	22.17	21.95	21.44	21.26	20.50	19.07	17.78	17.90	20.49	21.61	21.61	22.18	20.66
2015	21.72	21.36	22.07	21.44	20.65	18.93	17.19	17.92	20.11	21.58	22.13	22.16	20.60
Promedio	21.64	21.59	21.48	20.96	19.62	17.81	17.00	18.09	19.33	21.11	21.42	21.94	20.17

Anexo 8. Datos climatológicos de precipitación

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1981	416.62	350.43	421.58	203.38	33.75	38.36	4.85	23.12	25.59	78.72	160.57	338.20	2095.16
1982	427.60	441.45	668.57	144.49	26.98	67.99	61.75	60.05	183.56	76.74	135.59	241.79	2536.56
1983	286.81	405.95	367.38	147.36	52.41	45.08	14.16	13.41	49.56	59.35	131.84	235.16	1808.46
1984	400.82	321.18	368.62	196.23	37.54	42.58	32.05	37.42	87.49	116.00	159.45	296.42	2095.80
1985	282.42	262.04	401.28	276.15	20.42	31.99	89.70	29.00	98.88	53.53	182.96	106.86	1835.24
1986	291.65	424.20	428.53	239.17	47.11	16.13	18.78	35.54	89.15	43.62	227.00	318.23	2179.10
1987	365.40	290.33	452.92	230.72	51.62	46.56	58.44	31.52	5.21	51.98	164.23	187.03	1935.97
1988	299.56	229.48	352.39	165.98	28.66	5.79	16.61	4.03	42.92	43.39	125.50	327.45	1641.76
1989	377.80	290.45	418.27	289.12	21.42	86.90	91.67	27.60	52.99	43.33	113.73	128.77	1942.05
1990	229.91	323.89	405.38	314.68	36.42	89.14	47.57	42.73	113.75	48.13	80.77	309.00	2041.36
1991	323.70	295.35	516.30	147.90	12.39	73.92	44.32	69.00	40.19	64.77	75.13	158.78	1821.75
1992	132.85	582.93	628.43	227.07	49.55	26.88	63.96	86.71	143.98	86.06	105.28	223.08	2356.80
1993	432.08	189.40	425.62	210.39	17.46	17.11	48.49	19.41	23.95	51.99	93.43	318.76	1848.08
1994	291.30	421.39	422.93	249.90	58.57	42.23	97.74	36.88	41.41	67.61	60.45	389.64	2180.04
1995	249.11	344.78	325.26	172.61	9.78	43.47	63.82	26.78	70.02	48.56	135.35	294.66	1784.20
1996	427.92	199.38	330.93	250.42	14.61	14.69	17.84	64.40	129.47	53.28	64.14	178.73	1745.78
1997	345.95	575.17	528.30	197.20	26.92	55.33	15.16	38.40	25.57	105.72	122.73	153.07	2189.50
1998	232.12	262.55	349.58	206.68	35.66	39.41	8.94	84.18	100.18	105.64	248.67	249.95	1923.54
1999	310.36	402.08	396.18	122.20	12.10	75.40	43.24	28.65	232.42	47.21	239.10	199.59	2108.54
2000	203.00	305.43	383.78	119.02	45.36	60.58	13.33	33.88	87.37	23.17	102.86	172.02	1549.80
2001	345.51	387.01	317.92	181.57	47.20	9.59	80.07	35.15	60.88	86.33	195.07	317.83	2064.15
2002	143.42	315.15	261.88	252.46	79.53	60.29	66.37	25.47	31.53	170.59	182.28	322.93	1911.90
2003	233.67	437.78	311.57	169.33	33.99	64.39	11.99	55.84	185.94	117.28	220.70	224.70	2067.19
2004	232.73	333.82	325.97	194.28	13.73	21.40	121.97	15.46	29.34	60.60	300.52	421.46	2071.27
2005	261.99	413.48	274.56	155.99	7.13	33.49	54.51	1.29	3.03	172.68	198.37	360.07	1936.59
2006	557.29	298.58	202.91	400.61	32.99	71.32	5.16	70.91	109.51	195.61	182.76	341.02	2468.65
2007	221.16	506.03	324.01	266.78	41.56	2.56	115.51	12.39	79.13	136.23	222.48	270.71	2198.55
2008	484.38	329.67	541.61	227.48	30.37	33.63	26.87	23.10	85.71	102.60	106.35	335.79	2327.57
2009	197.65	381.60	437.09	340.99	99.57	44.58	107.58	49.21	106.49	85.83	204.91	280.18	2335.69
2010	328.78	399.54	361.38	99.98	34.17	1.19	56.65	26.23	114.76	171.20	214.70	248.76	2057.35
2011	368.32	505.32	385.16	281.01	40.86	28.60	39.33	44.49	227.25	152.99	106.50	257.88	2437.70
2012	312.24	508.42	349.58	248.44	57.78	62.56	9.36	28.40	88.29	179.53	101.78	250.82	2197.21
2013	284.02	313.17	348.40	181.67	66.10	44.60	9.31	47.92	41.69	125.93	95.73	266.25	1824.79
2014	531.71	402.40	528.48	120.87	79.20	61.24	29.79	41.72	39.76	65.53	185.17	186.12	2272.01
2015	373.00	293.87	331.18	104.82	69.96	8.79	32.22	43.67	45.17	57.00	90.26	97.28	1547.21
2016	363.76	260.39	297.33	284.47	24.91	29.05	18.78	69.87	44.82	45.13	163.95	161.69	1764.15
Promedio	321.29	361.23	394.20	211.71	38.83	41.58	45.50	38.44	81.58	88.72	152.79	254.74	

Anexo 9. Matriz de consistencia

MATRIZ DE CONSISTENCIA					
TITULO	FORMULACION DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGIA
	Problema general	Objetivo general	Hipótesis general	Variable independiente	Enfoque y Tipo de Investigación
ANÁLISIS DE TENDENCIAS DE PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA (1970-2017) EN LA CIUDAD DE PUERTO MALDONADO, PERÚ.	¿Cómo es el comportamiento y las tendencias medio anual y mensual de los elementos climatológicos de precipitación y temperatura del aire en la ciudad de Puerto Maldonado durante el período 1970-2017, mediante el análisis de los registros históricos y datos climatológicos modelados (PISCO) del SENAMHI?	Identificar el comportamiento y las tendencias de los elementos climatológicos de precipitación y temperatura en la ciudad de Puerto Maldonado durante el periodo de 1970 – 2017, mediante registros históricos y datos climatológicos modelados (PISCO) del SENAMHI.	Existe un incremento significativo de la temperatura promedio mensual y anual en la ciudad de Puerto Maldonado, mediante análisis de registros históricos y datos climatológicos modelados (PISCO) del SENAMHI.	Temperatura media, temperatura máxima y temperatura mínima	Investigación básica Alcance de la Investigación Descriptivo - explicativo Diseño de Investigación
	Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicas	Variable dependiente Temperatura y precipitación observada (1970 - 2017); precipitación modelada (1981-2016) y temperatura modelada (1980-)	Diseño de Investigación Investigación longitudinal - tendencia
	1. ¿Cuál es el comportamiento medio anual, mensual de los elementos climatológicos de la precipitación y temperatura del aire en la ciudad de Puerto Maldonado, durante el período 1970-2017 mediante el análisis de los registros históricos y datos climatológicos modelados (PISCO) del SENAMHI?	1. Identificar el comportamiento medio anual, mensual de los elementos climáticos de precipitación y temperatura en la ciudad de Puerto Maldonado durante el periodo de 1970 – 2017, mediante registros históricos y datos climatológicos modelados (PISCO) del SENAMHI.	Ha1: Existe una disminución significativa de la precipitación mensual y anual en la ciudad de Puerto Maldonado, mediante análisis de registros históricos y datos climatológicos modelados (PISCO) del SENAMHI.	Indicadores I1: Serie mensual y anual del elemento climatológico de precipitación observada y en la base datos climatológicos (PISCO) del SENAMHI. I2: Serie mensual y anual del elemento climatológico de temperatura observada y en la base datos climatológicos (PISCO) del SENAMHI.	Muestra de la investigación Muestra por conveniencia: Estacion meteorológica de Puerto Maldonado
	2. ¿Cuál es la tendencia medio anual, mensual y estacional de los elementos climatológicos de precipitación y temperatura del aire en la ciudad de Puerto Maldonado durante el período 1970 – 2017 mediante el análisis de los registros históricos y datos climatológicos modelados (PISCO) del SENAMHI?	2. Identificar las tendencias climáticas de los elementos climáticos de precipitación y temperatura mensual, anual y estacional en la ciudad de Puerto Maldonado durante el periodo de 1970 – 2017 mediante registros históricos y datos climatológicos modelados (PISCO) del SENAMHI.	Ha2: Existe una tendencia significativa en la serie climática de precipitación y temperatura en la serie mensual, anual y estacional, en la Ciudad de Puerto Maldonado, mediante registros históricos y datos climatológicos modelados (PISCO) del SENAMHI (durante el período de 1970 al 2017).	I3: Serie estacional del elemento climatológico de temperatura observada y en la base datos climatológicos (PISCO) del SENAMHI.	Instrumento 1. Libros, revistas, memorias, 2. Ficha de solicitud de información 3. Estadísticos: (a) regresión lineal (b) tendencia test de Mann-Kendal (c) punto de cambio Test de Pettit

