

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN AGROECOLOGÍA

MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL



**INFLUENCIA DE LA DEFORESTACIÓN EN LA TEMPERATURA Y
PRECIPITACIÓN DE LOS DISTRITOS DE RUPA RUPA Y TOCACHE
PERÍODO 2003 - 2020**

Tesis

**Para optar el Grado Académico de
MAESTRO EN CIENCIAS EN AGROECOLOGÍA,
MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL**

PRESENTADO POR:

JHON FELIPE CAMONES HIDALGO

Asesor

ING. M.SC. FRANKLIN DIONISIO MONTALVO

Tingo María – Perú

2025



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
UNIDAD DE POSGRADO
DIRECCIÓN



""Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana""

ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS
Nro. 012-2025-UPG-FRNR-UNAS

En la ciudad universitaria, siendo las 09:00 a.m. del miércoles 22 de octubre del 2025, reunidos de manera presencial en el auditorio de segundo nivel de la Escuela de Posgrado, se instaló el Jurado Calificador a fin de proceder a la sustentación de la tesis titulada:

**“INFLUENCIA DE LA DEFORESTACIÓN EN LA TEMPERATURA Y
PRECIPITACIÓN DE LOS DISTRITOS DE RUPA RUPA Y TOCACHE PERÍODO
2003-2020”**

A cargo del candidato al Grado de Maestro en Ciencias en Agroecología, mención: Gestión Ambiental JHON FELIPE CAMONES HIDALGO.

Luego de la exposición y absueltas las preguntas de rigor, el Jurado Calificador procedió a emitir su fallo declarando **APROBADO** con el calificativo de **MUY BUENO** Acto seguido, a horas **10:30 a.m.** el presidente dio por culminada la sustentación; procediéndose a la suscripción de la presente acta por parte de los miembros del jurado, quienes dejan constancia de su firma en señal de conformidad.

Dr. CASIANO AGUIRRE ESCALANTE
Presidente del Jurado

Dr. EDILBERTO CHUQUILIN BUSTAMANTE
Miembro del Jurado


DR. DAVID PRUDENCIO QUISPE JANAMPA
Miembro del Jurado
ING. M.Sc. FRANKLIN DIONISIO MONTALVO
Asesor



UNAS

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN

UNIDAD DE SOPORTE CIENTÍFICO REPOSITORIO INSTITUCIONAL

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"
"Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia"

CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N 074 - 2026 - CS-RIDUNAS

El Jefe de la Unidad de Soporte Científico de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Investigación; aprobó el proceso de revisión a través del software TURNITIN, evidenciándose en el informe de originalidad un índice de similitud no mayor del 25% y contenido generado por Inteligencia Artificial menor o igual al 20%. Según establece el Art. 29° y 30° del Acuerdo Nro.017-2025-CIUNAS-VRI-UNAS.

Programa de Estudio:

Maestría en Ciencias en Agroecología Mención: Gestión Ambiental

Tipo de documento:

Table with 2 columns: Tesis, Trabajo de Suficiencia Profesional. The second column has an 'X' mark.

Table with 4 columns: TÍTULO, AUTOR, SIMILITUD, and CONTENIDO GENERADO POR INTELIGENCIA ARTIFICIAL. Row 1: INFLUENCIA DE LA DEFORESTACIÓN EN LA TEMPERATURA Y PRECIPITACIÓN DE LOS DISTRITOS DE RUPA RUPA Y TOCACHE PERÍODO 2003 - 2020, JHON FELIPE CAMONES HIDALGO, 11 % Once, Menor a 20 %.

Tingo María, 09 de marzo de 2026.

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
UNIDAD DE SOPORTE CIENTIFICO
ING. EINSTEIN A. ORTIZ MORALES
JEFE

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN AGROECOLOGÍA

MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL



INFLUENCIA DE LA DEFORESTACIÓN EN LA TEMPERATURA Y PRECIPITACIÓN DE LOS DISTRITOS DE RUPA RUPA Y TOCACHE PERÍODO 2003 - 2020

Ejecutor	:	Ing. Jhon Felipe Camones Hidalgo
Asesores	:	Ing. M.Sc. Franklin Dionisio Montalvo
Programa de Investigación	:	Gestión Ambiental y Cambio Climático
Línea de Investigación	:	Cambio climático y deforestación.
Eje temático de Investigación	:	Impacto de la deforestación sobre variables climáticas (temperatura y precipitación)
Lugar de Ejecución	:	Distritos de Rupa Rupa y Tocache.
Duración del Trabajo	:	12 meses
Financiamiento	:	S/. 10 000,00
	FEDU :	-
	Propio :	S/. 10 000,00
	Otros :	-

Tingo María – Perú

2025

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

Tingo María



VICERRECTORADO DE INVESTIGACION DIRECCIÓN DE GESTIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

“Promoviendo la Calidad de la Investigación”

REGISTRO DE PROYECTO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL GRADO ACADEMICO DE MAESTRO, INVESTIGACION DOCENTE

Universidad	: Universidad Nacional Agraria de la Selva
Escuela de posgrado	: EPG-UNAS
Posgrado	: Maestría en: Ciencias en Agroecología
Mención Objetivo General	: Gestión Ambiental : Evaluar la influencia de la deforestación en la temperatura y precipitación de los distritos de Rupa Rupa y Tocache, período 2003 – 2020.
Autor de la Tesis	: Ing. Jhon Felipe Camones Hidalgo
DNI	: 44103977
Correo Electrónico	: jhon.camones@unas.edu.pe
Asesores de Tesis	: Ing. M.Sc. Franklin Dionisio Montalvo
Área de Investigación	: Gestión Ambiental
Grupo de Investigación	: Gestión ambiental y cambio climático.
Línea de Investigación	: Cambio climático y deforestación.
Lugar de Ejecución	: Distritos de Rupa Rupa y Tocache.
Fecha de inicio	: 01/09/2024
Fecha de termino	: 30/08/2025
Presupuesto	: S/.10,000.00
Financiamiento	: Propio (X) FEDU () Externo ()

Según: Resolución: N° 461-2023-R-UNAS y Resolución: N° 295-2023-R-UNAS

Ing. Jhon Felipe Camones Hidalgo
Tesisista

Ing. M.Sc. Franklin Dionisio
Montalvo
Asesor

DEDICATORIA

A Dios todo poderoso, por la vida, quien cuida y protege con su manto, por darme la vida y cuidarme, guiándome por un camino iluminado, quitando las piedras delante de mí.

A la memoria de mi querido padre Mario, y a mi querida madre Eudocia, que me dieron la vida y su infinito amor, así como una educación ejemplar con mucho sacrificio.

A mi esposa Liley, por su infinito soporte emocional, cuyo amor y apoyo incondicional han sido mi mayor inspiración. Esta tesis es un reflejo de nuestro esfuerzo juntos.

AGRADECIMIENTOS

Muestro mis más sinceros agradecimientos:

- A mi “alma mater” Universidad Nacional Agraria de la Selva, por haberme dado la oportunidad de estudiar y culminar la Maestría.
- Al Ing. Msc. Franklin Dionicio, por su asesoría durante la ejecución, redacción y sustentación del mismo.
- A los docentes de la Escuela de Posgrado que me enseñaron, cuyos conocimientos me permitieron desarrollarme profesionalmente.
- A todas aquellas personas que de una u otra manera contribuyeron en la realización de la presente tesis doctoral.

INDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. Marco teórico	4
2.1.1. Deforestación en el ámbito de estudio	4
2.1.2. Los bosques tropicales	4
2.1.3. Deforestación en el Perú	5
2.1.4. Deforestación en la región Huánuco	6
2.1.5. Deforestación en la región San Martín.....	10
2.1.6. Causas de la deforestación.....	13
2.1.7. Teledetección satelital aplicada estudio ambiental.....	14
2.1.8. Radiación y espectro electromagnético	15
2.1.9. Resolución y calidad de los sensores remotos	17
2.1.10. Vegetación y Teledetección.....	17
2.1.11. Protocolo metodológico para la detección de la pérdida de bosque.....	18
2.1.12. Pérdida y cobertura de bosque húmedo amazónico 2021.....	18
2.1.13. Impactos de la forestación y la deforestación	19
2.1.14. Meteorología	20
2.1.15. Factores climáticos	20
2.1.16. Información pluvio – termométrica.....	20
2.1.17. Series estadísticas	21
2.1.18. Análisis de consistencia	21
2.1.19. Factores principales que generan inconsistencia en series climáticas	23
2.1.20. Estudio de tendencias.....	24
2.1.21. Tendencia actual del clima global.....	25
2.1.22. Índices de cambio climático.....	25
2.2. Estado del arte	27
III. MATERIALES Y MÉTODOS	29
3.1. Lugar de ejecución	29
3.1.1. Ubicación geográfica	29
3.1.2. Ubicación política	29
3.2. Materiales y Métodos	31

3.3. Variables de la investigación	31
3.4. Metodología.....	32
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	39
4.1. Determinación de la deforestación en los distritos de Rupa Rupa y Tocache en el periodo 2003 – 2020.....	39
4.2. Análisis de la variación de precipitación y temperatura en los distritos de Rupa Rupa y Tocache.....	43
4.2.1. Análisis de consistencia estadística de datos meteorológicos.....	43
4.2.2. Evaluación de la tendencia	61
4.2.2.1. Variabilidad mensual de la T. Min, T. Max y Precipitación	61
4.2.2.2. Variabilidad anual - temperatura mínima.....	67
4.2.2.3. Variabilidad anual - temperatura máxima.....	70
4.2.2.4. Variabilidad anual de la precipitación	72
4.3. Determinación de la deforestación y su incidencia en la temperatura y precipitación en los distritos de Tingo María y Tocache	74
4.3.1. Influencia de la deforestación en la temperatura y precipitación.....	74
V. CONCLUSIONES	77
VI. PROPUESTAS A FUTURO	78
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Porcentaje de deforestación a nivel provincial (MINAM, 2020).	7
2. Causas de deforestación en la Región Huánuco (GCF-TF & PNUD, 2020).	14
3. Rasgos de la región espectral.	16
4. Pérdida de bosque distrito de Rupa Rupa, año 2003 – 2020.	39
5. Pérdida de bosque distrito de Tocache, año 2003 – 2020.	40
6. Valores obtenidos de las pruebas de Dixon y Grubbs (temperatura mínima), estación de Tingo María.	43
7. Valores obtenidos de las pruebas de Dixon y Grubbs (temperatura mínima), estación de Tananta.	45
8. Valores obtenidos de las pruebas de Dixon y Grubbs (temperatura máxima), estación de Tingo María.	47
9. Valores obtenidos de las pruebas de Dixon y Grubbs (temperatura máxima), estación de Tananta.	48
10. Valores obtenidos de las pruebas de Dixon y Grubbs (precipitación), estación de Tingo María.	50
11. Valores obtenidos de las pruebas de Dixon y Grubbs (precipitación), estación de Tananta.	52
12. Valores -p de la prueba (Shapiro- Wilk) de los parámetros de temperatura mínima, máxima y precipitación Software XLSTAT, estación de Tingo María.	54
13. Valores -p de la prueba (Shapiro- Wilk) de los parámetros de temperatura mínima, máxima y precipitación Software XLSTAT, estación de Tananta.	55
14. Valores p de la prueba de homogeneidad para T. Min, T. Max y precipitación, estación de Tingo María.	58
15. Valores p de la prueba de homogeneidad para T. Min, T. Max y precipitación, estación de Tananta.	60
16. Valores - p de Mann - Kendall, de los parámetros en estudio, estación de Tingo María.	62
17. Valores - p de Mann - Kendall, de los parámetros en estudio, estación de Tananta.	65
18. Correlación de Pearson con datos de precipitación, temperatura mínima y máxima del distrito de Rupa Rupa.	74
19. Correlación de Pearson con datos de precipitación, temperatura mínima y máxima del distrito de Tocache.	75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Pérdida de bosque de la región Huánuco desde el 2001 al 2018, en ha (MINAM, 2020).	7
2. Bosque en la región de Huánuco en ha, años 2001 – 2018 (MINAM, 2020).	8
3. Porcentaje de bosques por provincia en el Departamento de Huánuco (GCF–TF & PNUD, 2020)..	9
4. Pérdida de bosque en Leoncio Prado en ha, años 2001 – 2018 (MINAM, 2020).	9
5. Cobertura de bosque en Leoncio Prado en ha, años 2001 – 2018 (MINAM, 2020)	10
6. Pérdida de bosque de la región San Martín en ha, años 2001 – 2018 (MINAM, 2020).	11
7. Cobertura de bosque en la región de San Martín en ha, años 2001 – 2018, (MINAM, 2020).	11
8. Pérdida de bosque de la provincia de Tocache en ha, años 2001 – 2018 (MINAM, 2020).	12
9. Bosque en la provincia de Tocache en ha, años 2001 – 2018 (MINAM, 2020).	13
10. Pérdida de bosque anual de la región Huánuco, años 2001-2021 (PNCBMCC, 2021).	19
11. Mapa de ubicación de la zona de estudio de Rupa Rupa.	30
12. Mapa de ubicación de la zona de estudio de Tananta.	30
13. Flujograma para el estudio de la consistencia estadística de las series climáticas.	35
14. Hectáreas y tendencia de pérdida de bosque en el distrito de Rupa Rupa, desde el año 2003 hasta el año 2020.	40
15. Hectáreas y tendencia de pérdida de bosque en el distrito de Tocache, desde el año 2003 hasta el año 2020.	41
16. Valores – p de las pruebas de Dixon y Grubbs de las series de temperatura mínima del distrito de Rupa Rupa.	44
17. Valores – p de las pruebas de Dixon y Grubbs de las series de temperatura mínima del distrito de Tocache.	45
18. Valores – p de las pruebas de Dixon y Grubbs de las series de temperatura máxima del distrito de Rupa Rupa.	48
19. Valores – p de las pruebas de Dixon y Grubbs de las series de temperatura máxima del distrito de Tocache.	49
20. Valores – p de las pruebas de Dixon y Grubbs de las series de precipitación del distrito de Rupa Rupa.	51
21. Valores – p de las pruebas de Dixon y Grubbs de las series de precipitación del distrito de Tocache.	52
22. Valores – p (Shapiro Wilk), de las series de T. Min, T. Max y precipitación del distrito de Rupa Rupa.	55
23. Valores – p (Shapiro Wilk), de las series de T. Min, T. Max y precipitación del distrito de Tocache.	57
24. Valores – p de las pruebas de homogeneidad de las series de T. Min, T. Max y precipitación del distrito de Rupa Rupa.	59
25. Valores – p de las pruebas de homogeneidad de las series de T. Min, T. Max y precipitación del distrito de Tocache.	61
26. Comportamiento mensual de la temperatura mínima en la ciudad de Tingo María, periodo 2003 – 2020.	63
27. Comportamiento mensual de la temperatura máxima en la ciudad de Tingo María, periodo 2003 – 2020.	64

28. Comportamiento mensual de la precipitación en la ciudad de Tingo María.	64
29. Comportamiento mensual de la temperatura mínima en la ciudad de Tocache.	66
30. Comportamiento mensual de la temperatura máxima en la ciudad de Tocache.	67
31. Comportamiento mensual de la precipitación en la ciudad de Tocache.	67
32. Variabilidad anual de la temperatura mínima del periodo 2003-2020, estación de Tingo María. .	68
33. Variabilidad anual de la temperatura mínima del periodo 2003-2020, estación de Tananta.	69
34. Variabilidad anual de la temperatura máxima del periodo 2003-2020, estación de Tingo María..	70
35. Variabilidad anual de la temperatura máxima del periodo 2003-2020, estación de Tananta.....	71
36. Variabilidad anual de la precipitación del periodo 2003-2020, estación de Tingo María.....	72
37. Variabilidad anual de la precipitación del periodo 2003-2020, estación de Tananta.	73

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue evaluar la influencia de la deforestación sobre la temperatura y la precipitación en los distritos de Rupa Rupa y Tocache [del Perú] durante el período 2003 – 2020. Para ello, se analizaron series estacionales de deforestación, temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación anual acumulada. Se formularon tres objetivos específicos: evaluar la variación en la deforestación, determinar los cambios en las variables climáticas y establecer la relación entre ambos fenómenos. Los resultados evidenciaron una tendencia decreciente en la deforestación anual en ambos distritos, acompañada de un aumento progresivo en las temperaturas y una variabilidad diferenciada en la precipitación. Además, se identificó una correlación directa significativa entre la deforestación y la temperatura, especialmente en Rupa Rupa, lo que fortaleció la hipótesis de que la pérdida de cobertura vegetal impactó el aumento de las temperaturas regionales. Estos hallazgos proporcionaron evidencia científica relevante para comprender la dinámica entre el uso del suelo y el clima en un contexto tropical y subrayaron la necesidad de implementar estrategias integradas de conservación, monitoreo ambiental y planificación territorial sostenible.

Palabras claves: cambio climático, deforestación, precipitación, temperatura

The Influence of Deforestation on the Temperature and Precipitation in the Rupa Rupa and Tocache Districts During the 2003 – 2020 Period

Abstract

The objective of the research was to evaluate the influence of deforestation on the temperature and precipitation in the Rupa Rupa and Tocache districts [of Peru,] during the 2003 – 2020 period. For this, seasonal series of deforestation, maximum temperature, minimum temperature, and accumulated annual precipitation were analyzed. Three specific objectives were formulated: to evaluate the variation in the deforestation, to determine the changes in the climate variables and to establish the relationship between both phenomena. The results evidenced a decreasing tendency in the annual deforestation in both districts, accompanied by a progressive increase in the temperatures and a differentiated variability in the precipitation. Moreover, a significant direct correlation was identified between the deforestation and the temperature, especially in Rupa Rupa, which strengthened the hypothesis that the loss in vegetative cover impacted the increase in regional temperatures. These findings provided scientific evidence that was relevant for understanding the dynamics between the soil use and the climate in a tropical context and underlined the need for the implementation of integrated conservation strategies, environmental monitoring and sustainable territorial planning.

Keywords: climate change, deforestation, precipitation, temperature

I. INTRODUCCIÓN

La creciente intervención humana sobre los ecosistemas naturales ha intensificado procesos de degradación ambiental, cuyas consecuencias se manifiestan en alteraciones significativas del clima a nivel global y regional. Según Salinas y Trevizano (2002), las actividades humanas requieren ser evaluadas de forma dinámica y periódica, con el fin de comprender los cambios ecológicos que generan y prever sus implicancias futuras. El cambio climático se entiende como una modificación del clima que resulta estadísticamente relevante y se prolonga a lo largo de varias décadas (Velázquez, 2005), se manifiesta de distintas formas en las diferentes regiones del mundo, afectando principalmente la disponibilidad de agua y la productividad de los ecosistemas.

La deforestación se considera uno de los factores más influyentes en el cambio climático, ya que contribuye con aproximadamente entre un 10 % y un 20 % de las emisiones globales de gases de efecto invernadero (Monjardín-Armenta et al., 2017). Este fenómeno no solo modifica el equilibrio de la atmósfera, sino que además repercute de manera negativa en el ciclo del carbono, la biodiversidad y la disponibilidad de recursos hídricos (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [IPCC], 2007; Brown et al., 2015). En lo referente a los bosques tropicales, particularmente los de la Amazonía, si bien la cuantificación y análisis de la deforestación ha sido abordada en diversos estudios (Altamirano & Lara, 2010), en el contexto peruano aún persiste una limitada producción científica que relacione la pérdida de cobertura forestal con el comportamiento climático a escala local y distrital.

La región nororiental del Perú, donde se ubican los distritos de Rupa Rupa y Tocache, ha experimentado transformaciones aceleradas en el uso del suelo debido a la expansión agrícola, la tala ilegal y otras actividades extractivas. Estas modificaciones podrían estar alterando el microclima local, incrementando la temperatura, modificando el patrón de lluvias y exacerbando los riesgos climáticos. González et al. (2011) advierten que el cambio climático ya es perceptible y se proyecta que sus efectos, como la reducción de precipitaciones y la intensificación de sequías, generen impactos severos, entre ellos, incendios forestales y estrés hídrico. Además, se prevé que el aumento de temperaturas afecte directamente la salud humana, la actividad agrícola y la calidad de vida, especialmente en zonas vulnerables (Sánchez, 2016; Heredia et al., 2011).

Aunque existe amplia evidencia mundial acerca de los impactos de la deforestación en el clima, en el caso peruano todavía son limitados los estudios que abordan esta relación a escala local con datos específicos y actualizados. En los distritos de Rupa Rupa y Tocache, donde la presión sobre los bosques ha sido históricamente alta, no se cuenta con estudios concluyentes que expliquen el vínculo entre la pérdida de cobertura forestal y las variaciones en temperatura y precipitación en escalas temporales prolongadas. En ese contexto, se desprende la siguiente interrogante de investigación: ¿Cuál es influencia de la deforestación en la variación de la temperatura y la precipitación en los distritos de Rupa Rupa y Tocache durante el período 2003–2020?

Esta investigación resulta pertinente y necesaria porque proporciona evidencia empírica actualizada sobre el impacto ambiental de la deforestación en zonas críticas del Perú. La información generada contribuirá a fortalecer el conocimiento científico sobre las dinámicas entre cobertura vegetal y clima, y constituirá un aporte para la toma de decisiones relacionadas con la planificación territorial, la conservación de los bosques y las estrategias de adaptación al cambio climático. Del mismo modo, atiende a una demanda regional de disponer de diagnósticos ambientales que permitan orientar políticas públicas sostenibles.

El estudio se desarrolló en el distrito de Rupa Rupa, ubicado en la provincia de Leoncio Prado, región Huánuco y en el distrito de Tocache (provincia de Tocache, San Martín), durante el periodo 2003–2020. Se analizó la variación de la deforestación mediante el procesamiento de imágenes satelitales, así como series climáticas de temperatura y precipitación. El enfoque es cuantitativo, correlacional y longitudinal, con el fin de establecer patrones y relaciones significativas entre las variables estudiadas por medio de los siguientes objetivos:

Objetivo general

- Evaluar la influencia de la deforestación en la temperatura y precipitación de los distritos de Rupa Rupa y Tocache, período 2003 – 2020.

Objetivos específicos

- Determinar la variación de la deforestación en los distritos de Rupa Rupa y Tocache en el período 2003 – 2020.

- Analizar la variación de la temperatura y precipitación en los distritos de Rupa Rupa y Tocache en el período 2003 – 2020.
- Determinar la relación de la deforestación y su incidencia en la temperatura y precipitación en los distritos de Rupa Rupa y Tocache en el período 2003 – 2020.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Marco teórico

2.1.1. Deforestación en el ámbito de estudio

De acuerdo con la Ley Forestal y de Fauna Silvestre N.º 29763 y sus respectivos reglamentos, la deforestación se entiende como la pérdida de la cobertura de un bosque natural ocasionada por la acción humana o por fenómenos naturales (MINAGRI, 2015).

2.1.2. Los bosques tropicales

Los bosques tropicales se encuentran muy vinculados al clima, y su reducción a nivel mundial se asocia al incremento de la temperatura terrestre, según estudios basados en observaciones satelitales. Aunque el calentamiento adicional se genera de manera local, la expansión global de la deforestación intensifica el fenómeno a escala planetaria. Si bien los árboles se reconocen tradicionalmente como sumideros de CO₂, investigaciones recientes destacan también la importancia de la evapotranspiración, proceso que contribuye a enfriar la superficie terrestre de manera similar a la sudoración humana. Este efecto varía de acuerdo con el tipo de vegetación —selvas amazónicas, bosques mediterráneos o campos agrícolas—, lo que influye en el balance energético y en la capacidad de regulación térmica local. Otro elemento clave es el albedo, entendido como la capacidad de reflejar radiación solar: mientras la nieve presenta valores cercanos al 90 %, los bosques apenas alcanzan entre el 8 % y el 10 %, lo que significa una mayor absorción de calor. Los cambios en la cobertura vegetal han generado un incremento de 0,23 °C entre 2000 y 2015, cifra que, aunque aparentemente reducida, refleja un impacto significativo en tan corto período. Este fenómeno provoca un doble efecto: un calentamiento local, que afecta directamente a las zonas deforestadas y sus habitantes, y un efecto global, que refuerza el proceso de cambio climático en curso (Criado, 2018).

De acuerdo con Mori (2022), se calcula que un árbol libera en promedio alrededor de 1,000 litros de agua por día a través del proceso de evapotranspiración. Si se considera una densidad aproximada de 200 árboles por hectárea, ello equivale a 200,000 litros diarios. En el caso del distrito de Nueva Requena, donde la superficie deforestada alcanza las 32,013.89 hectáreas, se estima que se ha dejado de aportar a la atmósfera un volumen cercano a

6,402,778,000 litros de agua. Esta reducción en el flujo hídrico atmosférico contribuye a la disminución de las precipitaciones en la zona.

2.1.3. Deforestación en el Perú

En relación con los bosques, Giudice y Guariguatta (2023), en el documento *Las Iniciativas de Conservación de Bosques en el Perú*, señalan que los ecosistemas tropicales cumplen un papel fundamental para el bienestar humano, al proveer múltiples bienes y servicios, tales como alimentos, recursos económicos y medios de vida, además de garantizar la calidad y disponibilidad del agua, aportar materiales de construcción, ofrecer espacios de recreación y contribuir a la mitigación del cambio climático global. No obstante, pese a su trascendencia, la pérdida de bosques continúa incrementándose en diversas zonas tropicales, principalmente debido a la expansión de carreteras, actividades mineras, agroindustria y ganadería, en muchos casos desarrolladas sin planificación adecuada o bajo esquemas ilegales de uso del territorio.

Moschella (2023) señala que la deforestación en zonas periurbanas de ciudades amazónicas se relaciona principalmente con la existencia de carreteras, la llegada de población migrante y la baja densidad urbana. La actividad agropecuaria constituye la causa directa más relevante; sin embargo, en los entornos periurbanos de varias urbes amazónicas también inciden el turismo recreativo, así como la inversión y especulación inmobiliaria. Por otro lado, la conservación de bosques periurbanos ocurre, en la mayoría de los casos, porque se ubican en áreas inundables o dentro de zonas protegidas. Esta realidad evidencia los retos que enfrenta la conservación de estos ecosistemas y plantea la necesidad de repensar los modelos de desarrollo urbano y de ocupación del territorio que ponen en riesgo la sostenibilidad.

Quispe et al. (2023) señalan que, dentro de su estudio sobre los factores que influyen en la pérdida de bosques, las variables climáticas como la precipitación total y la temperatura máxima presentan variaciones según las condiciones de cada región, evidenciando su vínculo con la deforestación. En cuanto a la precipitación anual, el valor máximo registrado alcanzó 3,312 mm/año, mientras que el mínimo fue de apenas 1 mm/año, con una desviación estándar de 769.86 mm/año. Asimismo, la temperatura máxima mostró una tendencia ascendente durante el periodo evaluado, con registros entre 10.3 °C y 33.8 °C.

De acuerdo con Meza (2021), en su investigación sobre la regulación del cambio climático en relación con los incendios forestales y la pérdida de biodiversidad en el Perú, se señala que las normas vigentes en materia de incendios forestales resultan aún limitadas y poco específicas, especialmente en cuanto a prevención y sanción. Por ello, se resalta la necesidad de que las autoridades competentes fortalezcan sus acciones para garantizar una mejor protección y erradicación de esta práctica ilegal. Asimismo, el estudio enfatiza que los incendios forestales contribuyen al agravamiento del cambio climático a largo plazo, afectando no solo al Perú sino también al contexto global. A esto se suma la pérdida de biodiversidad, la desertificación de los suelos, la desaparición de áreas boscosas que sirven de hábitat para numerosas especies y el deterioro de la calidad del suelo, condición esencial para la subsistencia de muchos organismos.

Según Palacios et al. (2019), en su estudio sobre la predicción de la pérdida de cobertura vegetal por el crecimiento urbano en Iquitos, Perú, se advierte que la expansión de la ciudad en detrimento de los bosques circundantes puede generar consecuencias negativas como la degradación de los ecosistemas y el incremento de la temperatura local, manifestado en fenómenos como el calentamiento urbano y la formación de islas de calor, lo que además contribuye a intensificar los procesos asociados al cambio climático. Asimismo, los autores destacan que las modificaciones en la cobertura y el uso del suelo impactan directamente en la fauna silvestre, pues la persistencia de muchas especies depende de la conservación de los bosques. En este sentido, la reducción de la cobertura vegetal representa una amenaza significativa para la biodiversidad de la zona.

2.1.4. Deforestación en la región Huánuco

Según el Ministerio del Ambiente (MINAM, 2020), mediante su sistema de monitoreo o plataforma denominada Geobosques, del entre los años 2001 - 2018 la región Huánuco tuvo una pérdida de bosque acumulada de 318924 ha, alcanzado sus máximos niveles en los años 2005, 2009, y 2014 (Figura 1).

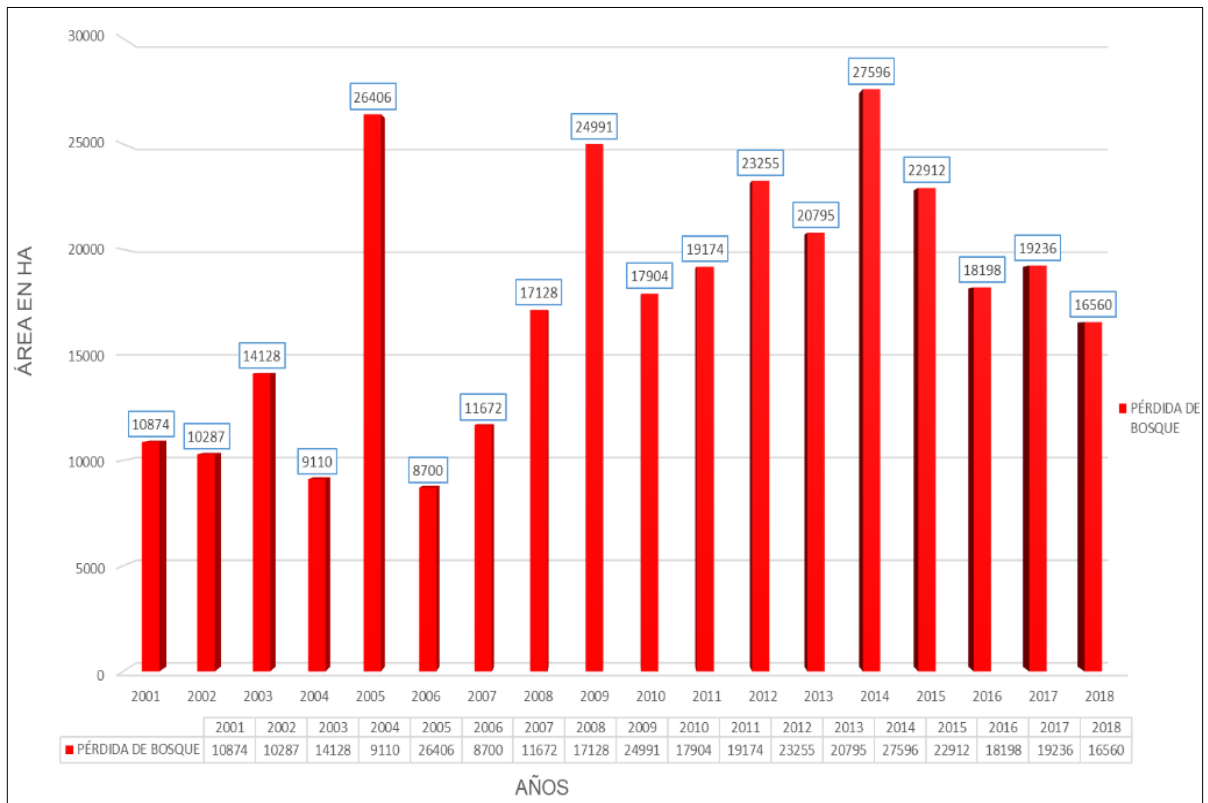


Figura 1. Pérdida de bosque de la región Huánuco desde el 2001 al 2018, en ha (MINAM, 2020).

Así mismo, la plataforma Gebosques del MINAM (2020), da a conocer que la región Huánuco en el 2001 contaba con un total de 1854011 ha de bosque, al 2018 se puede apreciar un total de 1545972 ha de bosque (Tabla 1 y Figura 2).

Tabla 1. Porcentaje de deforestación a nivel provincial (MINAM, 2020).

Provincia	No bosque al 2000	Pérdida de Bosque 2001-2017 (ha)	% de Deforestación por provincia
Dos de Mayo	2,736	376	0,12%
Huacaybamba	7,304	1,563	0.52%
Huánuco	45,181	4,224	1.40%
Huamalíes	25,410	5,308	1.76%
Pachitea	78,359	10,045	3.32%
Marañón	55,447	20.11	6.65%
Leoncio Prado	100,160	34,141	11.29%
Puerto Inca	158,037	226,577	74.94%
Total	472,636	302,364	100%

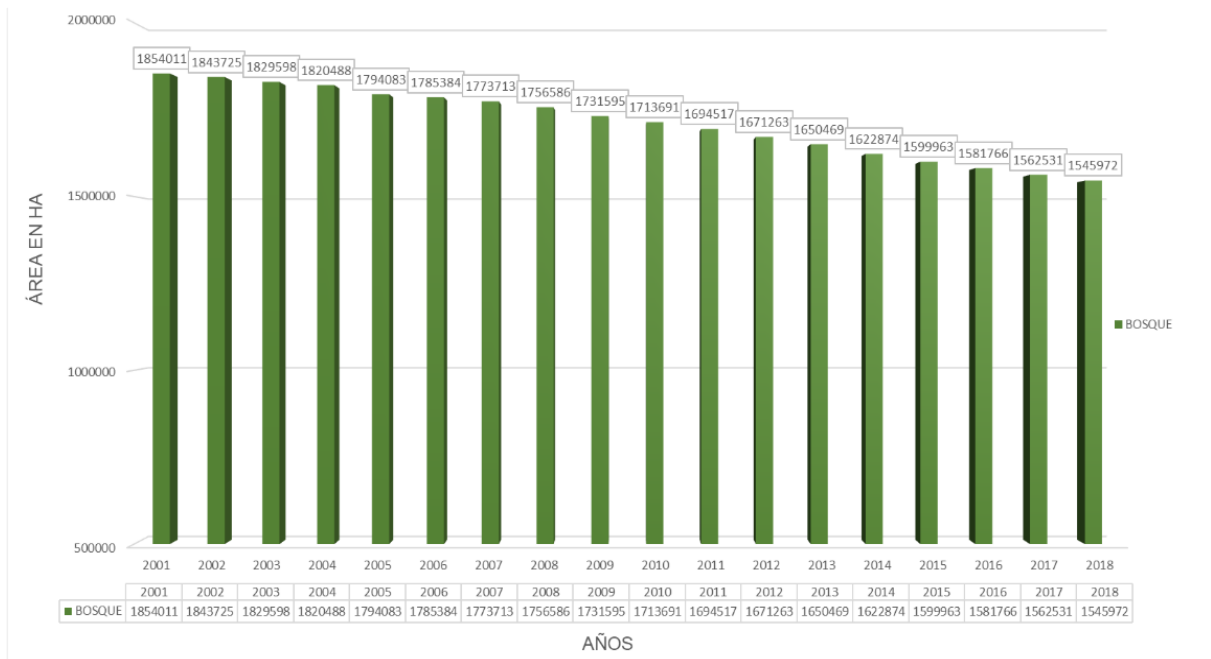


Figura 2. Bosque en la región de Huánuco en ha, años 2001 – 2018 (MINAM, 2020).

En Huánuco, las actividades agropecuarias representan la base de la economía regional, ya que concentran alrededor del 50% del empleo. No obstante, la productividad laboral en este sector aún se mantiene por debajo del promedio nacional, principalmente por el bajo nivel de capitalización. A ello se suma el reducido tamaño de las unidades agropecuarias, con un promedio de 5,5 hectáreas, así como la limitada organización de los productores, dado que solo un 5% de ellos se encuentran asociados (Banco Central de Reserva del Perú [BCRP], 2015).

Según el Grupo de Trabajo del Fondo Verde para el Clima (GCF-TF) y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD, 2020), en la región Huánuco la actividad pecuaria tiene un rol relevante, destacando especialmente en la provincia de Puerto Inca, donde gran parte de los bosques han sido transformados en áreas de pastoreo. La ganadería se centra en el vacuno, cuya producción alcanza el 9% del total nacional y continúa en crecimiento. Asimismo, en el informe se muestra la proporción de cobertura boscosa correspondiente a cada provincia de la región (Figura 3).

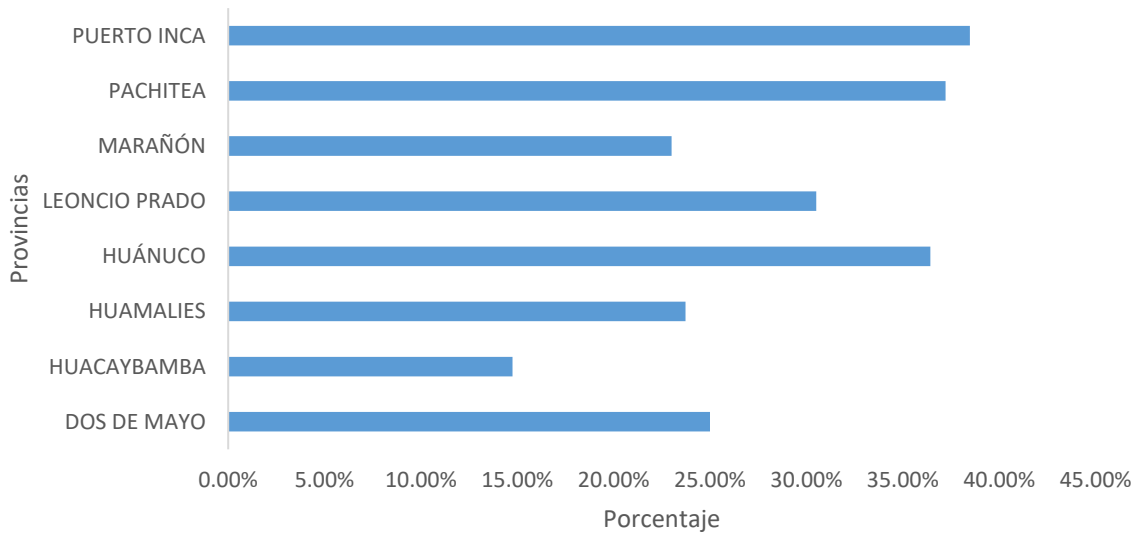


Figura 3. Porcentaje de bosques por provincia en el Departamento de Huánuco (GCF–TF & PNUD, 2020).

2.1.4.1. Deforestación en el ámbito de la provincia de Leoncio Prado

Según el MINAM (2020), a través de su plataforma Geobosques entre los años 2001 - 2018 la provincia de Tocache tuvo una pérdida de bosque acumulada de 36251 ha, alcanzado sus máximos niveles en los años 2005, 2014 y 2016 (Figura 4).

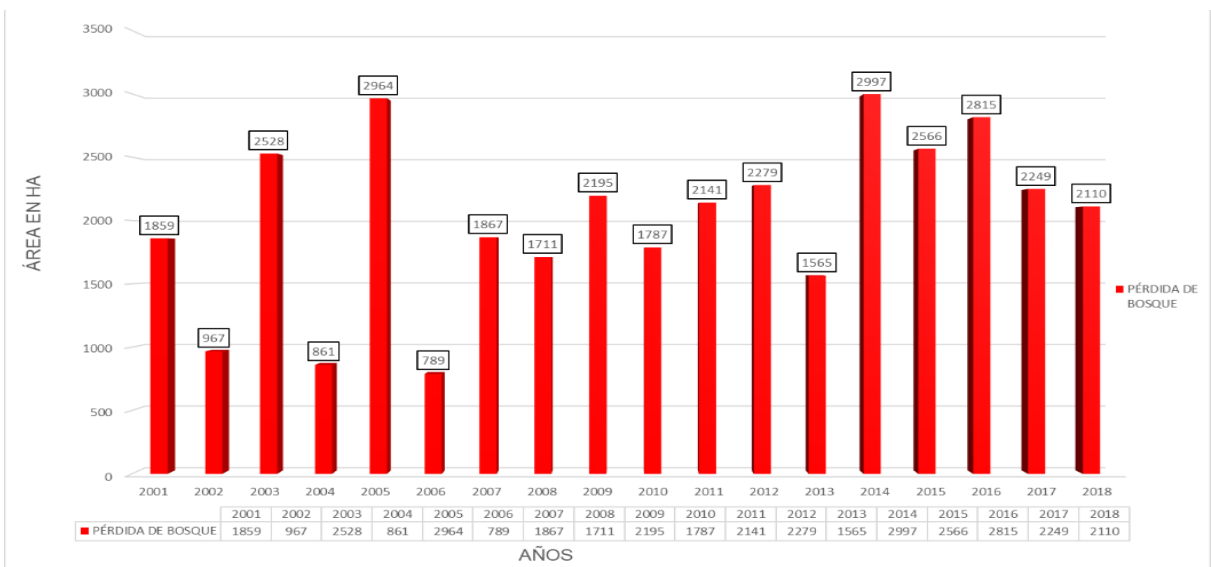


Figura 4. Pérdida de bosque en Leoncio Prado en ha, años 2001 – 2018 (MINAM, 2020).

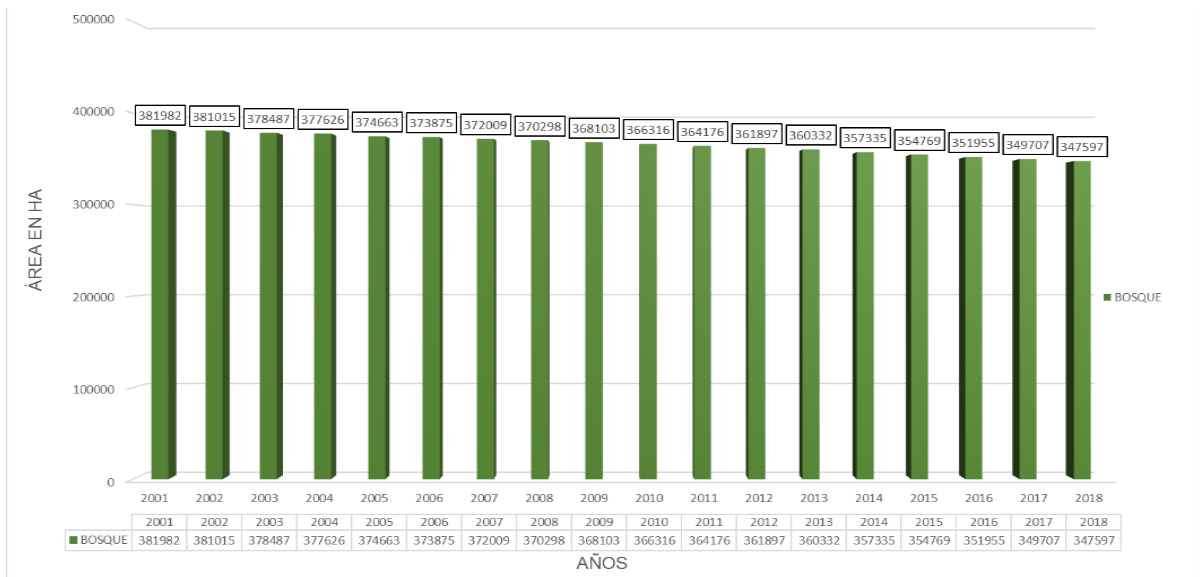


Figura 5. Cobertura de bosque en Leoncio Prado en ha, años 2001 – 2018 (MINAM, 2020)

Así mismo, MINAM (2020), en la plataforma Geobosques da a conocer que Leoncio Prado en el año 2001 contaba con un total de 381982 ha de bosque y al año 2018 se puede apreciar un total de 347597 ha de bosque (Figura 5).

2.1.5. Deforestación en la región San Martín

Según MINAM (2020), en su plataforma Geobosques, indica que entre los años 2001 – 2018, San Martín (región) tuvo una pérdida de bosque acumulada de 436512 ha, alcanzado sus máximos niveles en los años 2005, 2007, 2009 y 2010 (Figura 6).

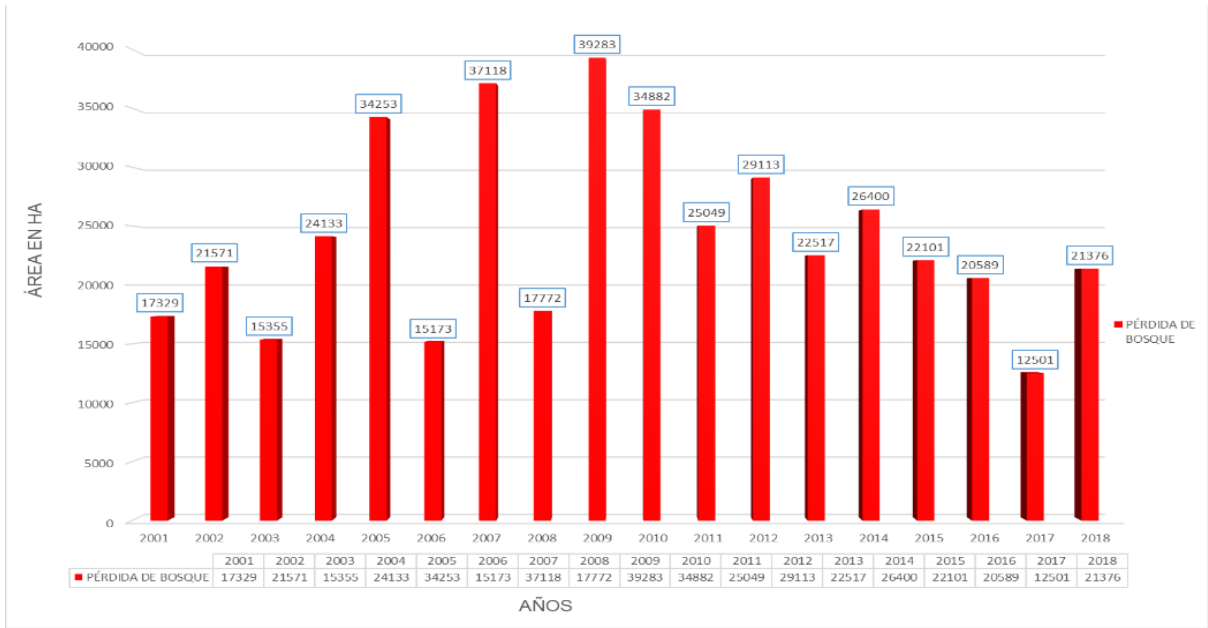


Figura 6. Pérdida de bosque de la región San Martín en ha, años 2001 – 2018 (MINAM, 2020).

Así mismo, MINAM (2020), en la plataforma Geobosques da a conocer que San Martín (Región) en el 2001 contaba con un total de 3763713 ha de bosque, al 2018 se puede apreciar un total de 3344540 ha de bosque (Figura 7).

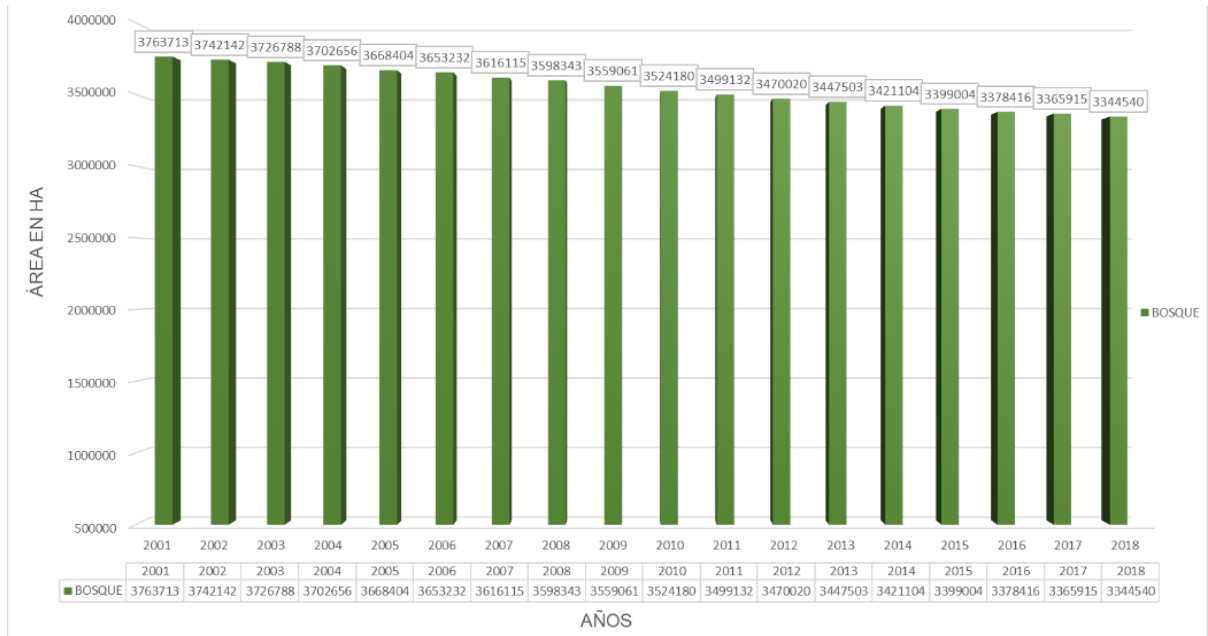


Figura 7. Cobertura de bosque en la región de San Martín en ha, años 2001 – 2018, (MINAM, 2020).

2.1.5.1. Deforestación en la provincia de Tocache.

Según MINAM (2020), en la plataforma Geobosques, entre los años 2001 - 2018 la provincia de Tocache tuvo una pérdida de bosque acumulada de 37203 ha, alcanzado sus máximos niveles en los años 2005, 2009, 2012, 2014, 2015 y 2016 (**Figura 8**).

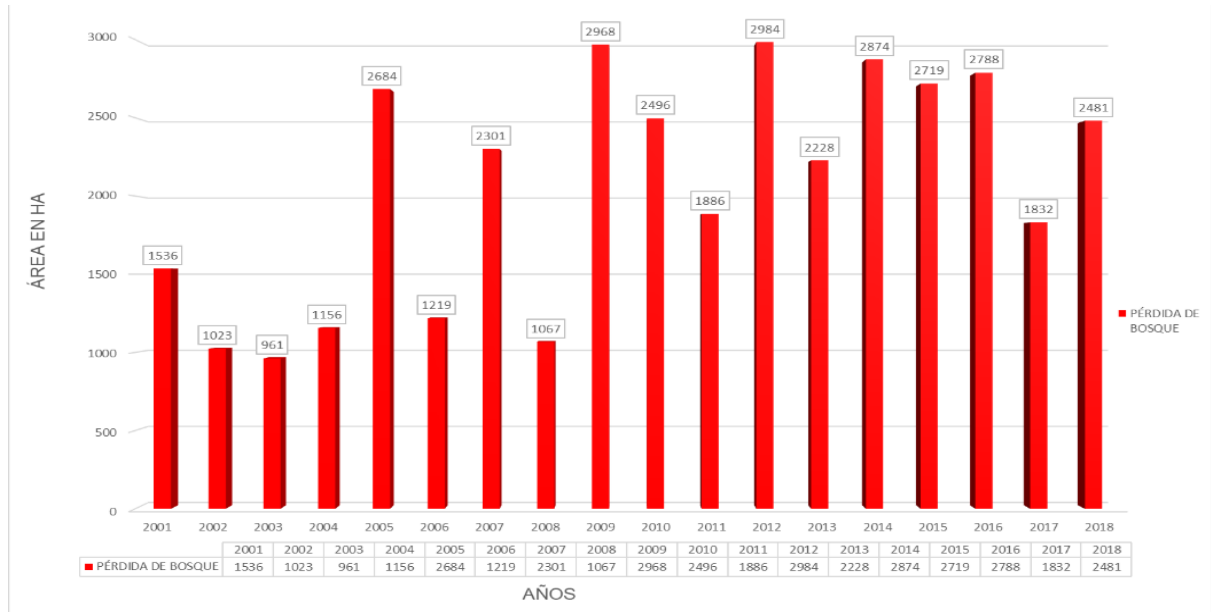


Figura 8. Pérdida de bosque de la provincia de Tocache en ha, años 2001 – 2018 (MINAM, 2020).

Así mismo, MINAM (2020), en la plataforma Geobosques, da a conocer que la provincia de Tocache en el 2001 contaba con un total de 412773 ha de bosque, al 2018 se puede apreciar un total de 377114 ha de bosque (Figura 9).

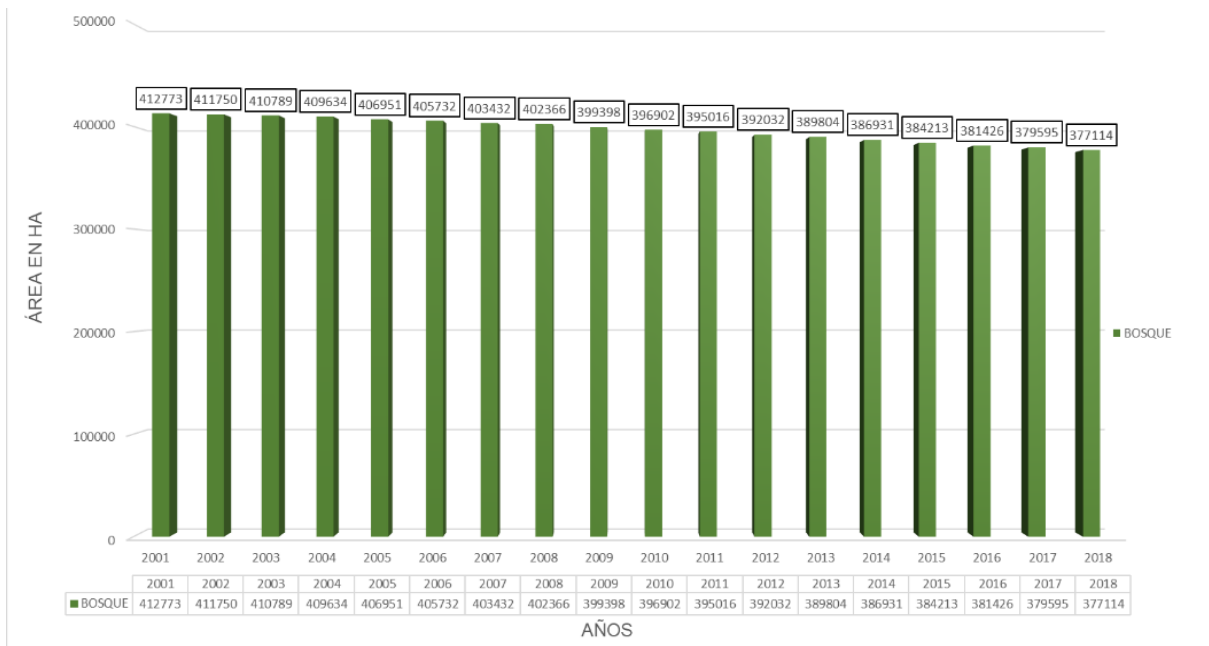


Figura 9. Bosque en la provincia de Tocache en ha, años 2001 – 2018 (MINAM, 2020).

2.1.6. Causas de la deforestación

Según GCT-TF y PNUD (2020), señalan que, la transformación de la cobertura boscosa se debe principalmente a la habilitación de nuevas áreas destinadas a la agricultura. Entre los cultivos que impulsan este cambio destacan el café, cacao, arroz, maíz, plátano, palma aceitera, pastos, granadilla, hortensia, papaya, piña y coca. A ello se suma la construcción y ampliación de vías de acceso y carreteras que conectan con los principales centros de producción regional (Tabla 2).

Tabla 2. Causas de deforestación en la Región Huánuco (GCF-TF & PNUD, 2020).

Tipología	Categoría	Nombre		
Directas	Actividades agropecuarias	- Plátano		
		- Café		
		- Cacao		
		- Arroz		
Directas	Actividades agropecuarias	- Maíz		
		- Pasto		
		- Palma		
		- Coca		
Directas	Actividades agropecuarias	- Cultivos permanentes		
		- Cultivos anuales		
		Infraestructura		
		- Vías y carreteras		
Indirectas	Factores Económicos	- Precio		
		- Mercado interno		
		- Mercado nacional		
		- Mercado internacional		
		- Precio de las tierras		
		- Alquiler de tierras		
		- Programa de inversión privada		
		- Ingresos/capital		
		- Acceso al crédito		
		- Invasiones		
Indirectas	Factores Económicos	Infraestructura		
		- Infraestructura de transformación		
		Indirectas	Factores institucionales y políticos	- Programas de promoción
				- Programas de inversión pública
				- Herramientas de gobernanza
				- Articulación transectorial
				- Corrupción
				- Control y vigilancia
				- Políticas de titulación y formalización
				Indirectas
- Violencia social				
Indirectas	Factores demográficos y sociales			Minería a pequeña escala
		- Oro		
Indirectas	Factores demográficos y sociales	Factores tecnológicos		
		- Asistencia técnica		
Indirectas	Otros factores: Biofísicos, externos, contexto social.	- Asociatividad		
		- Disponibilidad de tierras		
		- Sensación de impunidad		
		- Narcotráfico		
Indirectas	Otros factores: Biofísicos, externos, contexto social.	- Agroclima		
		Otros usos		
Indirectas	Otros usos	- Accesibilidad		
		- Tráfico de tierras		

2.1.7. Teledetección satelital aplicada estudio ambiental

La teledetección, particularmente en su modalidad satelital (TS), se fundamenta en que todo objeto o cobertura de la superficie terrestre interactúa con la radiación, ya sea absorbiéndola, reflejándola o emitiéndola en distintas longitudes de onda. La fracción reflejada depende directamente de las características físicas y químicas del material o de la cubierta

observada. Cuando esta radiación es registrada por un sensor en formato digital, se obtiene la denominada firma espectral del objeto o superficie. Este principio es el mismo que permite a la visión humana diferenciar elementos mediante colores, formas y texturas, especialmente en imágenes fotográficas en color o en blanco y negro. La complejidad radica en los cambios sutiles que no son perceptibles a simple vista y requieren un análisis especializado para ser detectados (Rullán, 2015).

Según Valdez (2014), la radiación que llega a los sensores es consecuencia de la relación entre la superficie terrestre y el equipo receptor. Este flujo puede originarse de tres maneras:

- Reflexión de la radiación solar en los elementos del terreno (visible e infrarrojo reflejado).
- Emisión propia de los objetos terrestres (infrarrojo térmico).
- Emisión proveniente del sensor que, al incidir sobre los objetos, es reflejada nuevamente hacia el dispositivo (radar).

Por lo tanto, cuando se emplean los dos primeros tipos de radiación se habla de teledetección pasiva, mientras que la tercera corresponde a teledetección activa.

2.1.8. Radiación y espectro electromagnético

Según Chuvieco (1996), la base física de la teledetección espacial se encuentra en la interacción de la radiación electromagnética con la superficie terrestre y el sensor remoto. Esta radiación corresponde a una forma de energía que se propaga a través del espacio en ondas compuestas por campos eléctrico y magnético, los cuales son perpendiculares entre sí. Dicho flujo viaja a la velocidad de la luz y está constituido por partículas elementales denominadas fotones o cuantos.

El espectro electromagnético se organiza en diferentes regiones según la longitud de onda, que varía desde los rayos gamma, con longitudes extremadamente cortas del orden de 10^{-12} μm , hasta las ondas de radio, que pueden alcanzar varios kilómetros. Estas regiones se conocen como bandas, cada una caracterizada por frecuencias específicas (medidas en Hertz) y longitudes de onda que abarcan desde micrómetros hasta kilómetros (Tabla 3).

Tabla 3. Rasgos de la región espectral.

Región espectral (bandas)	Longitud de onda (λ)	Características
Rayos gamma	< 0.03 nm	Totalmente absorbidos por las capas superiores de la atmósfera. No tienen aplicación en teledetección.
Rayos X	0.03 – 30 nm	Radiación absorbida por la atmósfera terrestre. Sin uso en teledetección.
Ultravioleta	0.03-0.4 μ m	La fracción con $\lambda < 0.3 \mu$ m es absorbida por la capa de ozono. Limitada utilidad en teledetección. Detectable mediante fotodetectores y películas fotosensibles convencionales (color y blanco/negro). Es la base de la observación remota.
Visible (azul, verde y rojo)	0.4 – 0.7 μ m	Permite diferenciar coberturas vegetales y estimar contenido de humedad. Fundamental en estudios de vegetación.
Infrarrojo próximo	0.7 – 1.3 μ m	Útil para estimar humedad en la vegetación y detectar focos de alta temperatura.
Infrarrojo medio	1.3 – 8 μ m	Registra la radiación térmica emitida por la superficie terrestre. Esencial en estudios de temperatura superficial.
Infrarrojo térmico	8 – 14 μ m	Longitudes de onda largas capaces de penetrar nubes, nieblas y lluvia. Se emplea en radares activos (SAR).
Micro – Ondas	0.1 – 100 cm	

Ondas de radio	> 100 cm	Con las mayores longitudes de onda del espectro. Su uso principal está en telecomunicaciones.
----------------	----------	---

2.1.9. Resolución y calidad de los sensores remotos

En un sistema sensor, se distinguen diferentes tipos de resolución: la resolución espacial, que se refiere al tamaño mínimo del objeto que puede identificarse en una imagen (generalmente expresado en píxeles); la resolución espectral, que corresponde al número y la amplitud de las bandas del sensor; la resolución radiométrica se refiere a la capacidad del sensor para detectar variaciones de radiancia espectral; la resolución temporal corresponde a la periodicidad con la que un sensor logra registrar imágenes de una misma área, mientras que la resolución angular está vinculada a la variedad de ángulos desde los cuales es posible observar una misma superficie mediante el sensor (Saldaña, 2019).

2.1.10. Vegetación y Teledetección

En la vegetación, la reflectancia dentro del espectro visible es reducida, ya que los pigmentos fotosintéticos capturan gran parte de la radiación incidente en estas longitudes de onda, como clorofilas, xantofilas y carotenos, particularmente en torno a los $0,445 \mu\text{m}$, correspondiente a la banda TM1. La clorofila presenta además una segunda zona de absorción cerca de los $0,645 \mu\text{m}$ (banda TM3). Entre ambas regiones se ubica una franja intermedia, alrededor de $0,55 \mu\text{m}$ (banda TM2), donde la absorción disminuye, generando un máximo relativo de reflectancia.

En el infrarrojo cercano, la vegetación muestra una elevada reflectividad, atribuida principalmente a la estructura celular interna de las hojas. Sin embargo, esta reflectividad se reduce de manera progresiva hacia el infrarrojo medio, alcanzando un marcado descenso en torno a $1,45 \mu\text{m}$, donde la absorción por el agua es significativa. Dicho efecto también se observa en $1,92 \mu\text{m}$ y $2,7 \mu\text{m}$. Entre estas zonas de absorción del agua aparecen dos picos relativos de reflectancia, aproximadamente en $1,6 \mu\text{m}$ y $2,2 \mu\text{m}$, correspondientes a las bandas TM5 y TM7 del sensor ETM+, respectivamente (Laurente, 2009).

2.1.11. Protocolo metodológico para la detección de la pérdida de bosque

El Ministerio del Ambiente (MINAM), a través del Programa Bosques (2020), desarrolló el Protocolo metodológico para la detección de la pérdida de bosque, el cual contempla tres etapas principales: pre-procesamiento, clasificación de pérdida de bosque y post-clasificación. Asimismo, destacan que la metodología propuesta por la Universidad de Maryland (UMD) permitió, por primera vez en la historia del país, contar con información anual sobre pérdida de bosques para el periodo 2001 – 2016. No obstante, con la implementación de la nueva metodología nacional, se alcanzaron niveles más altos de exactitud tanto del usuario como del productor, reduciendo significativamente los errores en la detección (MINAM, 2020).

2.1.12. Pérdida y cobertura de bosque húmedo amazónico 2021

El Programa Nacional de Conservación de Bosques para la Mitigación del Cambio Climático (PNCBMCC, 2021), indica sobre el proceso de monitoreo anual de la pérdida de bosques 2021, lo siguiente: El análisis se basa en la revisión de imágenes satelitales Landsat, aplicando un procedimiento metodológico denominado árboles de decisión (algoritmo), el cual permite identificar tanto la cobertura como la pérdida de bosques. Los resultados obtenidos son validados mediante la verificación final y la retroalimentación del Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR), del Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI).

Cabe señalar que, en las estadísticas oficiales de pérdida de cobertura boscosa, no se incluyen aquellas ocasionadas por la migración natural del cauce de los ríos, ya que estas han sido diferenciadas metodológicamente por el PNCBMCC desde el año 2017 (Figura 10).

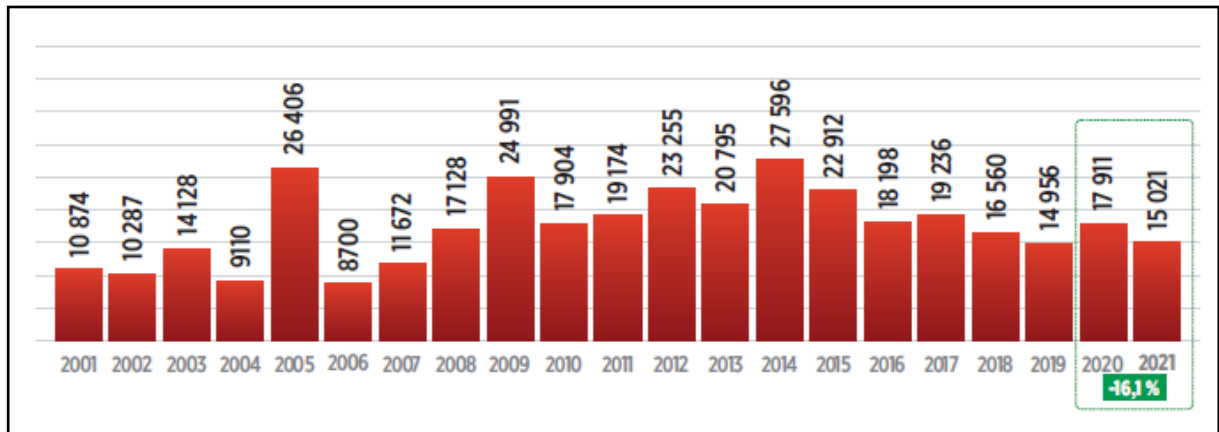


Figura 10. Pérdida de bosque anual de la región Huánuco, años 2001-2021 (PNCBMCC, 2021).

Asimismo, se logró excluir gran parte de la pérdida natural de cobertura boscosa originada por deslizamientos y derrumbes en zonas montañosas, así como aquellas ocasionadas por los denominados golpes de viento o chacras de viento (procesos naturales que no corresponden a deforestación por acción humana). Este refinamiento fue posible gracias a la interacción con el Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (SERNANP).

Respecto a la validación temática de la Pérdida de Bosques 2021, la matriz de confusión arrojó una exactitud global del 90,9 % y un índice Kappa de 0,82, lo que refleja un alto nivel de confiabilidad en los resultados obtenidos.

De acuerdo con el documento, la región Huánuco concentra el 2,21 % de los bosques amazónicos del Perú, localizados principalmente en las provincias de Puerto Inca, Leoncio Prado y Marañón. Durante el 2021, este departamento presentó una reducción del 16,1 % en la pérdida de bosques respecto al año previo, pasando de 17 911 hectáreas en 2020 a 15 021 hectáreas en 2021 (PNCBMCC, 2021).

2.1.13. Impactos de la forestación y la deforestación

Según Predevello et al. (2019), e realizó una proyección del cambio en la cobertura forestal de Brasil para el periodo 2010-2050, empleando información proveniente del proyecto de Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación de los Bosques (REDD+). Estos datos se generaron combinando información de múltiples fuentes sobre varias

variables, incluyendo vegetación, áreas protegidas, costos de transporte y valores de los bosques plantados.

A nivel mundial, la deforestación y la forestación tuvieron efectos opuestos en el clima local, y estos efectos variaron con la latitud. La deforestación condujo a un calentamiento constante de $0,38 \pm 0,02$ °C (media \pm EE) en las regiones tropicales y $0,16 \pm 0,01$ °C en las regiones templadas, pero en las regiones boreales condujo a un ligero enfriamiento de $-0,04 \pm 0,003$ °C. Por el contrario, la forestación tuvo efectos de enfriamiento en las regiones tropicales ($-0,18 \pm 0,02$ °C) y templadas ($-0,19 \pm 0,02$ °C), pero efectos nulos en las regiones boreales ($0,01 \pm 0,01$ °C). El cambio forestal tuvo efectos opuestos en la LST diurna y nocturna, y la magnitud del cambio fue mayor para el día en comparación con la LST nocturna o anual.

Aunque la eficacia de la plantación de árboles para mitigar el calentamiento global aún está en debate, nuestros resultados sugieren que los efectos climáticos locales de la deforestación pueden revertirse con la forestación, incluso en períodos cortos (<10 años), como también se sugirió recientemente.

2.1.14. Meteorología

La meteorología es la ciencia encargada de analizar la atmósfera, sus propiedades físicas y dinámicas, así como los fenómenos que en ella se manifiestan, conocidos como meteoros. Su estudio se fundamenta en la observación y comprensión de diversas variables meteorológicas, tales como la temperatura, la presión atmosférica y la humedad, las cuales presentan variaciones tanto espaciales como temporales (Rodríguez et al., 2004).

2.1.15. Factores climáticos

De acuerdo con Zúñiga y Crespo (2010), los principales factores que influyen en la determinación del clima en una región determinada son: la elevación sobre el nivel del mar, la cercanía a grandes cuerpos de agua o la continentalidad, las corrientes marinas, los vientos dominantes, la presencia constante de sistemas de alta y baja presión y la topografía.

2.1.16. Información pluvio – termométrica

De acuerdo con Espinoza (2011), la investigación climática exige un conocimiento previo de las condiciones físico-geográficas, así como de registros puntuales

obtenidos mediante observaciones directas. Posteriormente, estos datos deben ser procesados, organizados y analizados a nivel mensual considerando diversas variables meteorológicas, tales como: Precipitación y Temperatura (máxima, media y mínima).

La precipitación corresponde al agua que procede de la humedad contenida en la atmósfera y que llega a la superficie terrestre, ya sea en forma líquida (lluvia) o sólida (granizo y nieve). La temperatura máxima hace referencia al valor más alto alcanzado en un periodo específico, mientras que la mínima corresponde al valor más bajo registrado en ese mismo intervalo. La amplitud térmica se define como la diferencia entre la temperatura máxima y mínima, y la temperatura media se entiende como el promedio de los valores registrados en un periodo determinado.

La realización de estudios meteorológicos requiere contar con una base de datos climáticos que sea consistente, completa, continua y suficientemente amplia para garantizar la validez de los análisis (Espinoza, 2011).

2.1.17. Series estadísticas

De acuerdo a la Organización Mundial de Meteorología (OMM, 1994), en el análisis probabilístico, una serie es una secuencia conveniente de datos, como son los registros horarios, diarios, estacionales o anuales de una variable meteorológica. Cuando dichos registros incluyen la totalidad de los eventos ocurridos durante un periodo específico, la serie se denomina serie de duración completa.

De acuerdo con Barreiro et al. (2009), es fundamental emplear herramientas estadísticas en el análisis de información climática, debido a que los procesos atmosféricos presentan variaciones que generan incertidumbre. El uso de la estadística posibilita: Representar y sintetizar los datos, medir y estimar el grado de incertidumbre, formular inferencias y conclusiones.

2.1.18. Análisis de consistencia

Según Colotti et al. (2016), el análisis de la homogeneidad en las series climáticas equivale a verificar la consistencia estadística de los datos. No obstante, para asegurar que dichos registros reflejan realmente variaciones naturales del comportamiento atmosférico, es indispensable revisar la información contenida en los metadatos o contrastarla con registros de otras estaciones a nivel regional.

De igual manera, plantean que para evaluar la consistencia de una serie climática se deben considerar los siguientes aspectos:

- Identificación de valores atípicos (Outliers): Para determinar la presencia de valores extremos, es necesario comparar las series que los contienen con datos de estaciones cercanas, siempre que no existan diferencias significativas de relieve que puedan alterar las condiciones locales. Si en dichas comparaciones se observa que los valores elevados no se presentan de manera simultánea en estaciones vecinas, se puede concluir que estos corresponden a errores asociados al proceso de observación meteorológica.
- Evaluación de la normalidad de las series climáticas: La verificación de la normalidad puede realizarse mediante diversos procedimientos, tales como el papel probabilístico normal, el coeficiente de Cornu, el límite de aceptación de la asimetría, la prueba de Chi-cuadrado, el test de Kolmogorov-Smirnov y la prueba de Shapiro-Wilk, entre otros. En todo análisis estadístico resulta crucial identificar la distribución de probabilidad de la muestra, especialmente para la aplicación de métodos paramétricos, que requieren que los datos se ajusten a una distribución normal o cercana a ella. Por esta razón, se recomienda emplear el test de Shapiro-Wilk como herramienta principal de verificación.
- Determinación de la homogeneidad de las series climáticas: Para este fin, puede aplicarse el método de Von Neumann, el cual permite evaluar la independencia intramuestral entre los datos.

En este sentido, se establece que una serie climática debe superar al menos dos de las pruebas propuestas para ser considerada estadísticamente confiable y consistente.

Wilks (2011), toca una diversidad de temas críticos para el análisis estadístico en climatología, no obstante, menciona que no todos los valores atípicos estadísticos son errores; pueden corresponder a fenómenos reales que deben ser entendidos en su contexto físico-climático, no debiendo depender de una sola prueba, además en estaciones con menor variabilidad estacional o altitudinal, las temperaturas tienden a comportarse de forma más simétrica y predecible.

De igual manera, Zuur et al. (2007) señalan que la variable precipitación difícilmente se ajusta a una distribución normal, por lo que aplicar pruebas de normalidad sin realizar previamente transformaciones o correcciones puede conducir a interpretaciones erróneas.

Cruz (2010) sostiene que la homogeneidad se entiende como la uniformidad de un parámetro medible, es decir, que su comportamiento se mantenga prácticamente constante a lo largo del tiempo. Una serie climática se considera homogénea cuando sus variaciones responden únicamente a causas naturales. La homogeneidad de los datos climáticos resulta esencial, ya que otorga confiabilidad y representatividad a la serie analizada.

Por su parte, Guenni et al. (2008) señalan que, antes de realizar un estudio de tendencias en registros meteorológicos de una región determinada, es fundamental comprobar que los cambios detectados en los promedios se deban a la dinámica natural del clima. Una serie climática puede perder su homogeneidad si la estación de registro ha experimentado modificaciones en los instrumentos, en su ubicación, en el personal observador o en las condiciones del entorno. Dado que los datos climáticos son especialmente vulnerables a este tipo de alteraciones, resulta indispensable aplicar técnicas que permitan verificar esta condición. Una forma de hacerlo es corroborar si los cambios observados en la serie de interés también se presentan en una estación de referencia cercana.

2.1.19. Factores principales que generan inconsistencia en series climáticas

Según Colotti et al. (2005), desde el momento en que se instala una estación meteorológica hasta que la información es entregada a los usuarios, puede presentarse la posibilidad de cometer errores de tipo instrumental o humano. En este sentido, la falta de un control riguroso en la fase de observación constituye una causa relevante de heterogeneidad en los registros meteorológicos, a la que se añaden tanto las características geográficas del sitio como factores de origen natural.

Respecto a los errores que pueden surgir durante el proceso de observación meteorológica, se consideran los siguientes:

- Deficiencias en la instalación de los equipos.
- Mal funcionamiento de los instrumentos.
- Errores en la calibración del instrumental.
- Carencia de un mantenimiento adecuado de la estación y de los equipos.
- Sustitución de modelos o marcas de instrumentos.
- Lecturas incorrectas.
- Uso de bandas o gráficos no compatibles con el tipo de registradores empleados.
- Fallos en la transcripción de las mediciones a las planillas correspondientes o a la base de datos digital.

En cuanto a los factores geográficos asociados al emplazamiento de la estación, se destacan:

- Selección inadecuada del lugar para instalar la estación meteorológica.
- Modificaciones en el entorno inmediato de la estación.
- Reubicación de la estación.
- Dificultades de acceso al lugar de la estación.

Finalmente, las causas de origen natural son las más complejas de justificar, pues se encuentran ligadas a variaciones propias del sistema climático.

2.1.20. Estudio de tendencias

De acuerdo con Lale (2008), en su investigación sobre las tendencias de temperatura, precipitación y humedad relativa en Tingo María durante el periodo 1940–2007, se identificó que, a partir del análisis de promedios mensuales y anuales por cada treintenio, la temperatura máxima mostró una ligera disminución, variando entre $-0,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$, mientras que la temperatura mínima presentó un incremento de $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Asimismo, la precipitación evidenció un aumento que osciló entre -19 mm y $101,6\text{ mm}$, y la humedad relativa se elevó en un rango de 6% a 8% en las últimas tres décadas. En cuanto a la clasificación climática, Tingo María corresponde a un clima cálido ecuatorial bajo el esquema tradicional; según Köppen, se categoriza como Afa (ecuatorial); y, conforme a Strahler, se ubica dentro del tipo ecuatorial lluvioso. Los valores de referencia muestran una temperatura máxima de $29,76\text{ }^{\circ}\text{C}$, mínima de $19,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ y media de $25\text{ }^{\circ}\text{C}$; con una precipitación anual promedio de $3\ 357,1\text{ mm}$ y una humedad relativa del 78% . Además, los registros mensuales evidencian temperaturas superiores a $24,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, precipitaciones mayores a 123 mm y niveles de humedad por encima del 76% .

Por su parte, Espinoza (2011), en su investigación sobre el análisis de tendencias climáticas en la cuenca del río Sajhuaya, sostiene que este tipo de estudio es fundamental para evaluar los cambios en el comportamiento de la precipitación y la temperatura en periodos prolongados. Dicho análisis se realiza sobre series temporales de precipitaciones, temperaturas medias, máximas y mínimas extremas, aplicando técnicas estadísticas tanto paramétricas como no paramétricas. Asimismo, plantea una metodología para estimar la sensibilidad del análisis de tendencias en diferentes periodos de tiempo. Es importante señalar que las tendencias detectadas en series de datos climáticos pueden estar asociadas a múltiples factores: cambio

climático global (resultado del aumento de gases de efecto invernadero), efecto urbano y desarrollo de grandes metrópolis, o cambios en el uso del suelo (deforestación, urbanización, reforestación, entre otros). No obstante, el análisis de tendencias por sí solo no permite establecer con certeza la causa de tales cambios.

Finalmente, Barreda (2004) enfatiza que los gráficos de series temporales constituyen una herramienta visual valiosa para identificar posibles tendencias o cambios. Sin embargo, para confirmar la existencia de una tendencia en una serie, es necesario que todos los métodos estadísticos aplicados respalden dicha hipótesis. En caso de que al menos uno de los métodos indique lo contrario, no es posible afirmar con seguridad la existencia de tendencia.

2.1.21. Tendencia actual del clima global

El IPCC, citado por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI, 2010), señala que el cambio climático global constituye actualmente una realidad incuestionable. Diversas observaciones evidencian el incremento de las temperaturas atmosféricas y oceánicas, el retroceso generalizado de glaciares, nieve y hielo, así como el aumento del nivel medio del mar. En particular, desde que se iniciaron los registros de temperatura superficial de la Tierra en 1850, once de los doce años más cálidos se han concentrado en el período reciente de 1995 a 2006. Durante el último siglo (1906–2005), la temperatura media mundial aumentó en 0,74 °C.

En su Cuarto Informe de Evaluación (AR4, 2007), el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) presenta un balance sobre el estado del sistema climático global y formula proyecciones respecto a sus posibles variaciones. Dicho informe advierte que los incrementos recientes de la temperatura en diversas regiones ya han impactado múltiples sistemas físicos y biológicos. Además, reafirma que entre 1901 y 2005 la temperatura se elevó en 0,74 °C. Desde su primer reporte en 1990, las estimaciones del IPCC planteaban un aumento de la temperatura global promedio de entre 0,15 y 0,3 °C por década para el período 1990–2005; proyección que coincide con los valores observados de aproximadamente 0,2 °C por década, de acuerdo con el AR4.

2.1.22. Índices de cambio climático

El grupo de expertos en detección e índices de cambio climático (ETCCDI), conformado por la OMM, el proyecto CLIVAR y la comisión conjunta de oceanografía y meteorología marítima (JCOMM), propuso un conjunto de índices diseñados para detectar y

monitorear variaciones en los extremos climáticos. Estos índices se calculan a partir de series observacionales de temperatura y precipitación, y los resultados de estaciones individuales pueden integrarse en series regionales representativas del área de estudio. De este modo, los índices del ETCCDI ofrecen una base metodológica común que permite la comparación y síntesis de resultados entre distintas regiones del planeta (Vásquez, 2010).

De acuerdo con el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI, 2010), los fenómenos meteorológicos extremos merecen especial atención, ya que suelen estar asociados a los mayores impactos sociales y económicos. El Tercer Informe del IPCC ya advertía que un incremento en la frecuencia o intensidad de estos eventos se traduciría en costos económicos y sociales elevados, particularmente en las zonas directamente afectadas.

Con el fin de uniformizar la evaluación de estos fenómenos, se creó el ETCCDMI (CCI/CLIVAR/JCOMM), que recomienda el cálculo de un conjunto de índices básicos para su análisis. En este marco, se han desarrollado herramientas computacionales como CLIMDEX, elaborado por el Servicio Meteorológico de Canadá, que facilitan la aplicación estandarizada de estos índices.

Finalmente, Vásquez (2010) subraya que el calentamiento global observado en las últimas décadas constituye una de las principales evidencias de un cambio climático significativo, atribuido principalmente a las actividades humanas y, en particular, al incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero (IPCC, 2007). Comprender las variaciones locales del clima y dimensionar sus impactos es esencial para enfrentar los desafíos asociados a la seguridad y bienestar de la humanidad.

2.1.23. Correlación entre variables atmosféricas y la deforestación

En el presente estudio se aplicará el coeficiente de correlación de Pearson, el cual, constituye un indicador que permite cuantificar el grado de asociación o covariación entre variables que mantienen una relación lineal. Este coeficiente toma valores en un rango de -1 a 1, donde el signo refleja la dirección de la pendiente en la recta de regresión, mientras que la magnitud expresa la intensidad de la dependencia lineal existente entre ambas variables (Rivas, 2014).

2.2. Estado del arte

La relación entre la deforestación y las variaciones climáticas locales, específicamente la variación en la temperatura y precipitación, ha sido objeto de múltiples investigaciones en diversas regiones del Perú. En este contexto, se ha profundizado en la influencia de la pérdida de cobertura boscosa sobre los registros meteorológicos y los ciclos hidrológicos locales. Burga (2024) sostiene que, en la cuenca del río Monzón, el cambio climático se encuentra estrechamente vinculado a la expansión agrícola y a la deforestación, lo cual ha provocado alteraciones en los ciclos hidrológicos naturales, incrementando así el peligro ante extremos del clima, como inundaciones y deslizamientos. Dichas transformaciones afectan directamente los estilos de vida y el progreso económico de las comunidades locales, subrayando la necesidad de evaluar la tasa de deforestación en estas zonas de alta sensibilidad ambiental.

No obstante, en un análisis más detallado, el mismo autor (Burga, 2024), utilizando datos de temperatura y precipitación del periodo 1987–2022, concluye que no se evidencia una relación directa entre la deforestación y las variaciones climáticas en la cuenca del Monzón. Según sus proyecciones, se espera un aumento en la temperatura de 0,29 °C hacia el año 2050, mientras que los niveles de precipitación permanecerían relativamente constantes durante el periodo estudiado.

En una investigación paralela, Domínguez (2014) desarrolló un estudio dendroclimatológico con el propósito de analizar la influencia de la precipitación y la temperatura en el crecimiento de las especies forestales *Pinus patula* y *Pinus muricata*. Los resultados del estudio identifican a la precipitación como la variable climática más influyente en el desarrollo de estas especies, reafirmando la importancia de comprender las complejas interacciones entre el clima y la vegetación.

Complementariamente, Durand y Guerrero (2023) analizaron la influencia de los factores climáticos en distintos pisos altitudinales —Yunga, Quechua, Suni y Puna— dentro de la subcuenca de Quisquichaca. Los hallazgos evidencian un incremento generalizado tanto en temperatura como en precipitación, aunque las respuestas de la cobertura vegetal varían de acuerdo al piso altitudinal, revelando así la heterogeneidad ecológica y la complejidad de las interacciones clima-vegetación en los ecosistemas andinos.

En el ámbito amazónico, Martínez (2021) estudió la relación entre deforestación y variabilidad climática en el distrito de Rupa Rupa durante el periodo 2001–2016. Su estudio reveló una correlación estadísticamente significativa entre la superficie deforestada y la precipitación, determinando que el 36 % de la variabilidad de esta última se explica por la reducción de la cobertura vegetal. Este hallazgo evidencia el efecto directo de la deforestación sobre el régimen hidrológico de la zona.

En la región Ucayali, Revilla-Chávez et al. (2021), examinaron la relación entre variables climáticas y las fases fenológicas de *Mauritia flexuosa* L.f. Los resultados obtenidos evidencian que no se encontró una relación estadísticamente significativa entre las temperaturas máxima y mínima, ni con la precipitación, respecto al desarrollo fenológico de la especie en el periodo de estudio. No obstante, los autores recomiendan extender la duración del estudio para obtener conclusiones más robustas.

Por su parte, Layza et al. (2014), en un estudio desarrollado en la provincia de San Martín para el periodo 1973–2014, determinaron una asociación positiva entre la deforestación y la temperatura media, obteniendo un coeficiente de correlación de 66,28 %. Así mismo, hallaron una relación inversamente proporcional entre humedad relativa y deforestación (68,71 %), así como una correlación significativa entre deforestación y precipitación (63,39 %).

A pesar de los aportes significativos de estos estudios, persiste una notoria escasez de investigaciones integradas a nivel distrital que analicen la relación entre deforestación, temperatura y precipitación de forma temporal. Distritos como Rupa Rupa y Tocache, ubicados en zonas de alta transformación ambiental, han sido escasamente abordados en la literatura científica. Esta carencia resalta la necesidad de realizar análisis espaciales y temporales detallados que relacionen la pérdida de cobertura forestal con las variables climáticas, contribuyendo con evidencia científica para la gestión ambiental y la planificación territorial sostenible en estos contextos vulnerables.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

Esta investigación se realizó en las ciudades de Tingo María y Tananta del distrito de Rupa Rupa y Tocache respectivamente.

3.1.1. Ubicación geográfica

Geográficamente, la estación Tingo María se encuentra localizada:

- Latitud: 9°17'17"
- Longitud: 75°59'59"
- Altitud: 645 m.s.n.m

La ciudad de Tingo María, capital del distrito de Rupa Rupa, está situada en la zona media del río Huallaga, entre la Cordillera Azul y la ladera oriental de la Cordillera de los Andes.

Geográficamente, la estación meteorológica más próxima a la ciudad de Tocache se localiza en el centro poblado de Tananta, ubicado en:

- Latitud: 8°6'35"
- Longitud: 76°35'44"
- Altitud: 450 m.s.n.m

Tananta se encuentra situada en la cuenca alta del río Huallaga, dentro del gran complejo andino (Cordillera de los Andes). Su territorio abarca dos unidades morfoestructurales de importancia: hacia el oeste se extiende la Cordillera Oriental, mientras que hacia el este se desarrolla la Cordillera o Faja Subandina.

3.1.2. Ubicación política

El distrito de Rupa Rupa se localiza a una altitud que oscila entre los 640 y 670 m s. n. m., dentro de la región selva. Su acceso se realiza principalmente por vía terrestre, a través de la carretera que conecta Lima con la ciudad de Tingo María (Figura 11).

El distrito de Tocache se encuentra a una altitud de 440 m.s.n.m a 460 m.s.n.m, correspondiente a la región selva, a la cual se accede por vía terrestre por la carretera Fernando Belaunde Terry (Km. 928) (Figura 12).

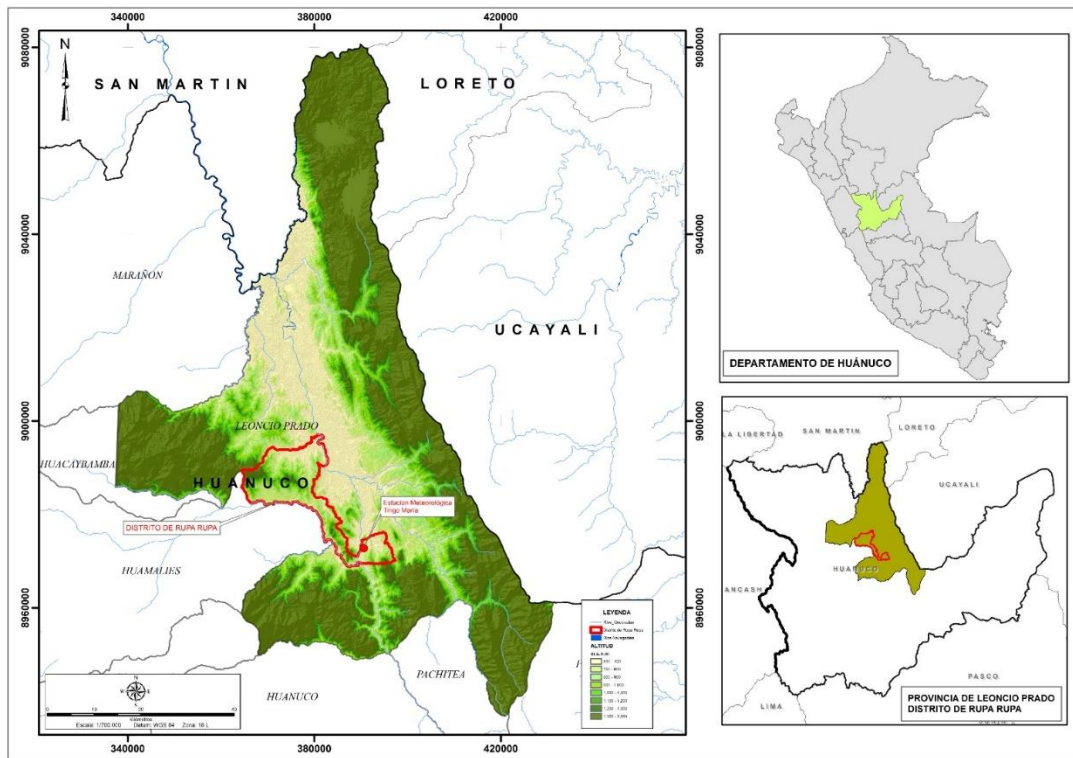


Figura 11. Mapa de ubicación de la zona de estudio de Rupa Rupa.

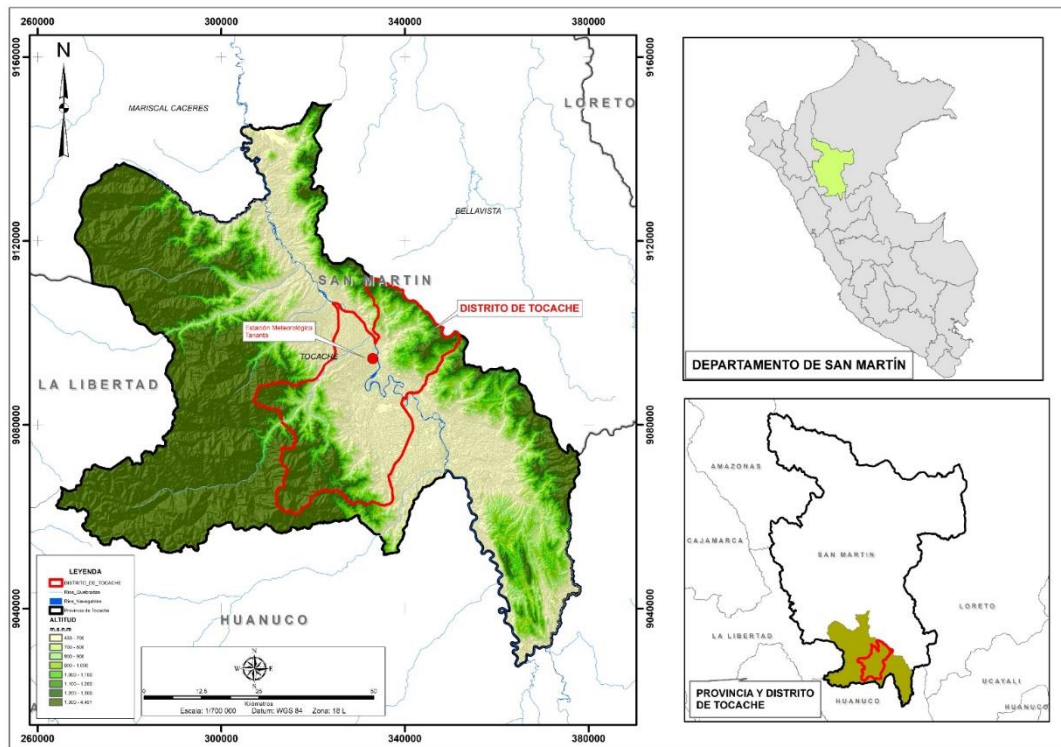


Figura 12. Mapa de ubicación de la zona de estudio de Tananta.

3.2. Materiales y Métodos

3.2.1. Datos meteorológicos

El estudio se fundamenta en 18 años de observaciones diarias de precipitación y temperaturas extremas obtenidas de dos estaciones meteorológicas: “Tingo María”, en la ciudad homónima del distrito de Rupa Rupa (provincia de Leoncio Prado, región Huánuco), y “Tananta”, situada en Tocache (provincia y distrito del mismo nombre, región San Martín). Dichos registros, correspondientes al intervalo 2003–2020, fueron proporcionados por el SENAMHI a través de su oficina en Huánuco (Ver Anexo).

3.2.2. Datos de la deforestación

Estos datos han sido recabados de la plataforma virtual del Ministerio del Ambiente (MINAM 2003-2023), denominada GEOBOSQUE, en el módulo Bosque y Pérdida de Bosque.

Esta información es de libre acceso al público y se encuentra actualizada hasta el año 2023.

3.2.3. Hardware, software y otros

- Ordenador Corel I7
- Software vectorial: QGis
- Excel 2019 y su extensión XLSTAT
- Cámara fotográfica (digital)
- Libreta de apuntes
- Útiles de escritorio

3.3. Variables de la investigación

Variable independiente (X): Deforestación o pérdida de bosque (ha/año)

Variable dependiente (Y): Precipitación (mm), temperatura (°C)

3.4. Metodología

3.4.1. Determinación de la deforestación en los distritos de Rupa Rupa y Tocache en el periodo 2003 – 2020

Para la evaluación de la deforestación, se ha recabado la información de la plataforma GEOBOSQUE del MINAM, donde utilizaron la siguiente metodología:

- Detección de la pérdida anual de bosque

La estimación de la pérdida anual de cobertura boscosa durante el periodo de análisis se llevó a cabo aplicando la metodología desarrollada por la Universidad de Maryland (UMD, 2014). Este procedimiento comprende tres etapas principales: (a) preprocesamiento, (b) clasificación de la pérdida de bosque y (c) post-clasificación.

La aplicación de esta metodología permitió que, por primera vez, el país disponga de información anual sobre pérdida de bosques, con registros continuos y actualizados desde el año 2001 hasta el 2023.

La variable de deforestación se construyó a partir de la información de pérdida de bosque proporcionada por la plataforma GEOBOSQUE del MINAM. Si bien el término técnico reportado es ‘pérdida de bosque’, en la Amazonía peruana esta pérdida se asocia mayoritariamente a procesos de deforestación antrópica, por lo que se utilizará como proxy de deforestación en el presente estudio.

3.4.2. Análisis de la variación de la temperatura y precipitación en los distritos en estudio

3.4.2.1. Recopilación de información meteorológicos

Con el propósito de analizar la variabilidad de la temperatura y la precipitación en los distritos de Rupa Rupa y Tocache, se recopilaron los registros de las estaciones meteorológicas “Tingo María” y “Tananta”, administradas por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI, 2023).

3.4.2.2. Procesamiento de datos meteorológicos con la extensión XLSTAT del software Excel

El procesamiento de los datos como también los gráficos de tendencias se realizó mediante el software Excel 2018, luego se efectuó el análisis de consistencia con la extensión XLSTAT.

- XLSTAT es una marca registrada de Addinsoft SARL.
- ID: 300051821
- SERIAL: PWDW222234-7048724F7A456E2D48654C4C7280

3.4.2.3. Tratamiento de datos faltantes

Los valores faltantes en las series mensuales de precipitación, temperatura mínima y máxima de ambas estaciones, se imputaron mediante el método de Promedio Mensual Climatológico. Es decir, cada mes con dato ausente fue reemplazado por el promedio histórico del mismo mes calculado para la estación. Para ello se empleó una plantilla en Microsoft Excel preparada previamente que incluye la hoja de datos y el cálculo automático de los promedios mensuales de la serie histórica, posteriormente, los valores obtenidos fueron copiados como valores fijos en las tablas mensuales. Este método está respaldado por la metodología descrita en Bastidas (2020).

3.4.2.4. Análisis estadístico de los registros meteorológicos

3.4.2.4.1. Análisis de Consistencia

Se aplicó una metodología de carácter no exhaustivo, fundamentada en las directrices establecidas por la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 1966) en la Nota Técnica N° 79, complementada con otros procedimientos que permiten un examen más detallado de la verificación de la consistencia (Figura 13).

Al contar con datos diarios de más de 18 años, se deben calcularon los promedios mensuales para los parámetros temperatura mínima y máxima y las sumas mensuales para la precipitación, para ambas estaciones.

Con los promedios mensuales se procedió a realizar las pruebas estadísticas con el Software XLSTAT, las pruebas a realizar, para los tres parámetros de las dos estaciones de estudio fueron:

- Identificación de valores atípicos mediante las pruebas de Dixon y Grubbs.
- Evaluación de la normalidad de las series climáticas utilizando el test de Shapiro-Wilk.
- Comprobación de la homogeneidad de las series a través del método de Von Neumann.
- Análisis de tendencia aplicando la prueba no paramétrica de Mann-Kendall (para evaluar tendencias mensuales) y aplicando la prueba de regresión lineal.

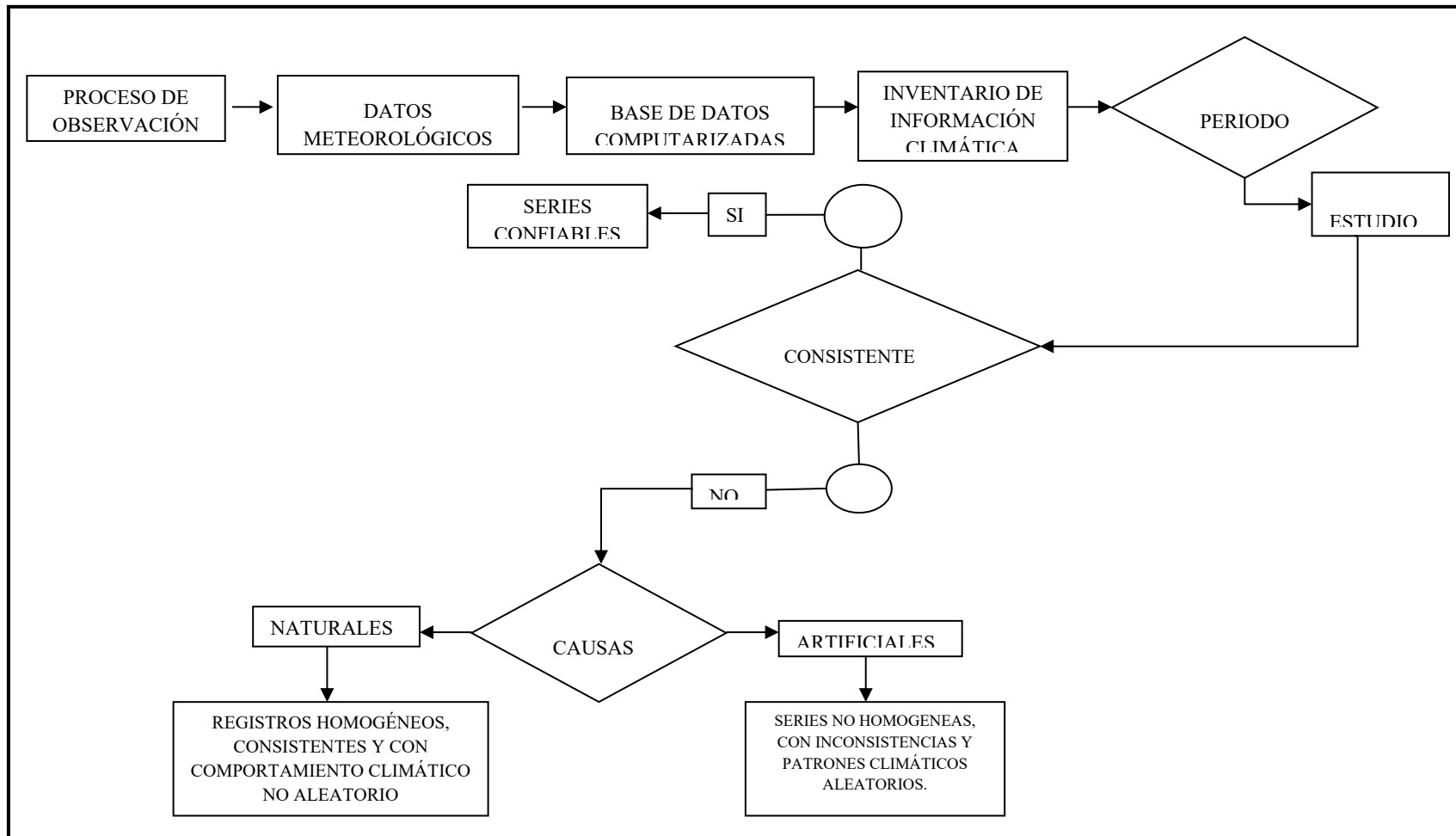


Figura 13. Flujograma para el estudio de la consistencia estadística de las series climáticas.

Determinación de Outliers o valores atípicos

- Prueba de Dixon

La prueba de Dixon constituye un procedimiento estadístico empleado para determinar si un dato extremo dentro de una muestra puede clasificarse como un valor atípico. El método consiste en establecer la razón entre la diferencia del valor mínimo o máximo sospechoso y su observación contigua más cercana, frente al rango total de la muestra, definido como la diferencia entre el valor mayor y el menor del conjunto (Dixon, 2016).

Los resultados con XLSTAT:

XLSTAT proporcionó, sobre la base de estas simulaciones, un valor de p y la conclusión de la prueba basada en el nivel de significación elegido por el usuario.

- Prueba de Grubbs

La prueba de Grubbs se empleó para identificar valores extremos en conjuntos de datos univariantes y requiere que los datos sigan, al menos aproximadamente, una distribución normal. Esta prueba permite detectar un único valor atípico por vez (Grubbs, 2016).

Los resultados con XLSTAT:

XLSTAT proporcionó una interpretación de la prueba si se ha solicitado una sola iteración de la prueba, o si ninguna observación fue identificada como una de las demás.

Análisis de la normalidad de las series climáticas

La normalidad de las series climáticas se evaluará utilizando el test de Shapiro-Wilk. En cualquier análisis estadístico, resulta esencial identificar la distribución de la cual se extrae la muestra, especialmente cuando se aplican métodos estadísticos paramétricos que requieren este conocimiento previo. Por ello, resulta indispensable considerar previamente el tipo de distribución probabilística de los datos antes de aplicar métodos paramétricos, ya que estos requieren, en muchos casos, que la muestra se ajuste a una distribución normal o cercana a la normalidad. En este contexto, se recomienda el uso de la prueba de Shapiro-Wilk.

Los resultados con XLSTAT:

El test de Shapiro-Wilk permite determinar si es posible aceptar o rechazar la hipótesis de normalidad de una muestra. Este método presenta un menor riesgo de error al

aceptar la normalidad en comparación con otras pruebas disponibles en el mismo software (Shapiro y Wilk, 1965).

Análisis de la homogeneidad de las series

- Método Von Neuman

Esta prueba se aplicó con el propósito de verificar la independencia de los datos en la muestra. El contraste de hipótesis se basa en una tabla donde la zona de aceptación se encuentra delimitada por un valor inferior **K** y un valor superior **K'**. Cuando el estadístico **Vn** es menor al límite inferior, se evidencia una correlación serial positiva, lo que sugiere que la serie conserva un patrón de persistencia, como tendencias o ciclos. Por el contrario, si **Vn** excede el límite superior, se interpreta como una correlación serial negativa, vinculada a comportamientos de tipo oscilatorio (Espinoza, 2011).

Análisis de Tendencias

Se evaluó el comportamiento temporal de variables climáticas de dos estaciones de los distritos de Rupa Rupa y Tocache.

Se utilizó la prueba de Mann-Kendall para evaluar las tendencias mensuales de las series y para evaluar la tendencia anual de la serie se utilizó la prueba de regresión lineal.

Las variables consideradas en el estudio fueron:

- Precipitación acumulada a escala mensual y anual.
- Temperatura promedio mensual y anual.
- Temperatura máxima registrada de forma mensual y anual.
- Temperatura mínima registrada de forma mensual y anual.

Para la prueba de regresión lineal se utilizó el Software Excel 2019, y para el método de Mann-Kendall se utilizó el software XLSTAT.

- Regresión lineal

El análisis de regresión lineal es una técnica estadística utilizada para estudiar la relación entre variables. La recta de regresión será definida por una línea recta cuya fórmula es:

$$Y_i = B_0 + B_1 X_1$$

El coeficiente B_1 representa la pendiente de la recta de regresión, mientras que B_0 indica el valor en el que la recta intercepta el eje vertical.

- Mann-Kendall (Prueba de Tendencia)

Este método estadístico se fundamenta en el ordenamiento (ranking) de los valores de una variable y se utiliza ampliamente para identificar tendencias crecientes o decrecientes en series hidrometeorológicas. Además de detectar la dirección de la tendencia, también permite identificar cambios abruptos o “saltos” en los datos. La prueba se realizó con el software XLSTAT, que evaluó si la serie analizada presenta una tendencia significativa o no.

3.4.3. Determinación de la relación entre la deforestación y su incidencia en las variables meteorológicas (precipitación y temperatura).

3.4.3.1. Relación entre la deforestación y su incidencia en la temperatura y precipitación

Para evaluar la relación entre la deforestación y su efecto sobre la temperatura y precipitación en los distritos de Rupa Rupa y Tocache, se empleó el coeficiente de correlación de Pearson. Este índice, según Rivas (2014), cuantifica el grado de covariación existente entre dos variables que presentan una relación lineal.

El coeficiente de correlación de Pearson presenta diversas propiedades que permiten interpretar el grado y tipo de relación entre dos variables linealmente relacionadas. Cuando $r = 1$, la correlación es directa y perfecta; si $0 < r < 1$, la relación es directa, pero no perfecta. Un valor de $r = 0$ indica que no existe correlación entre las variables. En cambio, cuando $-1 < r < 0$, se evidencia una correlación inversa, y si $r = -1$, la correlación inversa es perfecta. Estas propiedades facilitan la evaluación de la intensidad y dirección de la relación entre variables como deforestación, temperatura y precipitación.

Este coeficiente fue determinado con el programa IBM SPSS Statistics, versión de prueba, el cual nos da a conocer la correlación de Pearson, sig (bilateral), suma de cuadrados y productos vectoriales y covarianza.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Determinación de la deforestación en los distritos de Rupa Rupa y Tocache en el periodo 2003 – 2020

A continuación, se presentan los datos de deforestación (medida a través de la pérdida de bosque), proporcionados por el Ministerio del Ambiente, estos datos se encuentran de libre disponibilidad en la plataforma GEOBOSQUE.

Se puede visualizar las hectáreas perdidas de bosque en Rupa Rupa, de los 18 años analizados, la cantidad total de bosque perdido es de 3,007.98 hectáreas, con un promedio anual estimado de 167.11 hectáreas. El año con mayor pérdida de bosque es el año 2005 con 298.80 hectáreas y el año con menor pérdida de bosque es el año 2019 con sólo 66.51 hectáreas. En los primeros años (2003-2008) hubo valores más altos y variables, destacando 2003, 2005 y 2008, a partir del 2013 se observa una reducción más consistente, con valores que bajan incluso por debajo de 100 hectáreas (en 2018, 2019 y 2020) (Tabla 4).

Tabla 4. Pérdida de bosque distrito de Rupa Rupa, año 2003 – 2020.

AÑO	HECTÁREAS
2003	283.95
2004	129.42
2005	298.80
2006	104.94
2007	177.66
2008	268.74
2009	176.85
2010	161.10
2011	178.11
2012	134.19
2013	94.50
2014	215.37
2015	163.53
2016	175.95
2017	162.36
2018	112.50
2019	66.51
2020	103.50

Se puede visualizar la cantidad de hectáreas de pérdida de bosque del distrito de Rupa Rupa, desde el año 2003 hasta el año 2020, además se aprecia que para el distrito de Tingo María la tendencia de la pérdida de bosque es descendente, a razón de -6.8159 ha por año (Figura14).

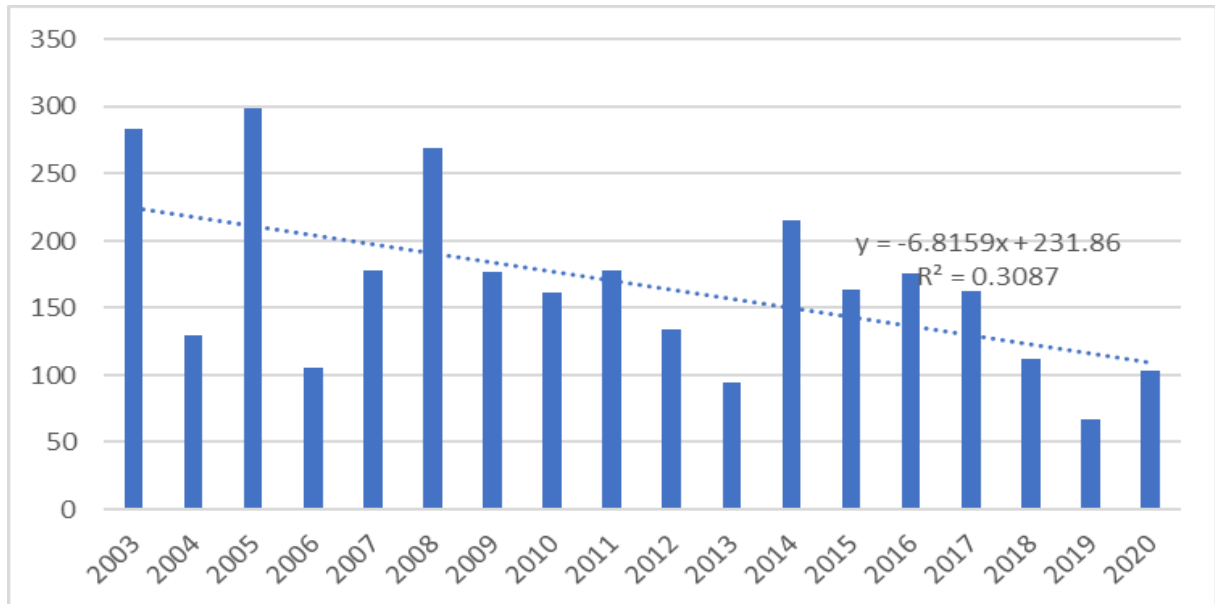


Figura 14. Hectáreas y tendencia de pérdida de bosque en el distrito de Rupa Rupa, desde el año 2003 hasta el año 2020.

La plataforma GEOBOSQUE, administrada por el MINAM (2020) realizó el análisis de la concentración de la pérdida de bosque del distrito de Rupa Rupa. El análisis fue realizado utilizando la metodología kernel con información de la pérdida de bosque (periodo 2015-2017).

Sobre la cantidad de hectáreas perdidas de bosque del distrito de Tocache, desde el año 2003 hasta el 2020: Se ha perdido un total de 6,425.72 hectáreas de bosque, con un promedio anual de 357.98 hectáreas, siendo el año 2007 el año con más pérdida de bosque (670.32 hectáreas) y el año con menor pérdida el año 2008 con 163.98 hectáreas (Tabla 5).

Tabla 5. Pérdida de bosque distrito de Tocache, año 2003 – 2020.

AÑO	HECTÁREAS
2003	118.71
2004	275.22
2005	475.02
2006	464.31
2007	670.32
2008	163.98

2009	425.07
2010	505.43
2011	261.00
2012	556.56
2013	237.15
2014	303.30
2015	266.49
2016	349.20
2017	315.72
2018	440.64
2019	181.17
2020	416.43

Sobre la cantidad de hectáreas de pérdida de bosque del distrito de Tocache, desde el año 2003 hasta el año 2020, se aprecia que la tendencia de la pérdida de bosque es descendente, a razón de -1.7767 ha por año (Figura 16).

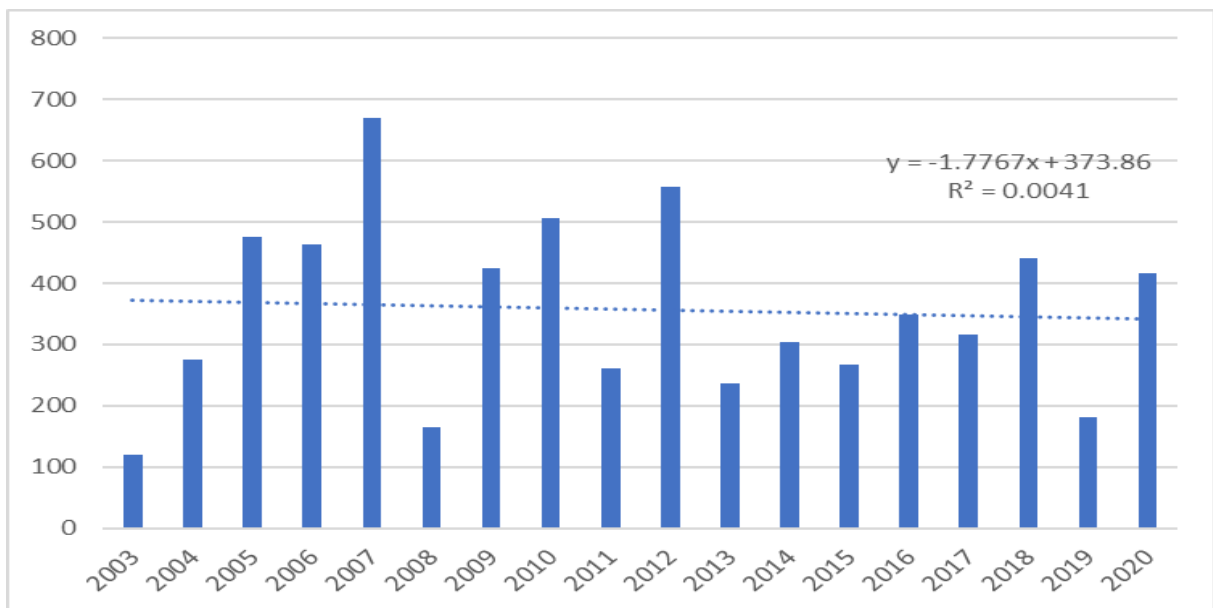


Figura 15. Hectáreas y tendencia de pérdida de bosque en el distrito de Tocache, desde el año 2003 hasta el año 2020.

Los resultados obtenidos para los distritos de Rupa Rupa y Tocache muestran una pérdida de bosque sostenida durante las dos últimas décadas, con fluctuaciones marcadas en determinados años, pero sin alcanzar aún una recuperación sostenida. En el caso de Rupa Rupa, la tendencia es moderadamente descendente desde mediados de la década de 2000, mientras que en Tocache se observa una mayor variabilidad anual, con picos que superan las 500 hectáreas/año en varios periodos.

El análisis de la pérdida de bosque en los distritos de Rupa Rupa y Tocache entre los años evaluados evidencia patrones diferenciados que, sin embargo, guardan relación con los factores identificados por el Grupo de Trabajo del Fondo Verde para el Clima (GCF-TF) y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD, 2020). Según estos organismos, los principales cambios en la cobertura forestal en el departamento de Huánuco son consecuencia de la apertura de nuevas áreas para cultivos agrícolas como cacao, arroz, piña, pastos, café, papaya, maíz, plátano, palma aceitera, granadilla, hortensia y coca, así como de la construcción de nuevas vías y carreteras que conectan los centros productivos.

Se observa una coincidencia interesante con lo señalado por Moschella (2023), quien indica que los principales factores asociados a esta problemática incluyen: Infraestructura vial (carreteras), población migrante, baja densidad urbana, expansión agropecuaria como causa directa, actividades complementarias como el turismo-recreación y la especulación inmobiliaria

En Tocache, la configuración urbana y su expansión probablemente siguen una lógica más asociada a la actividad agropecuaria extensiva que a un proceso formal de urbanización. Rupa Rupa, con una tendencia claramente descendente (en pérdida de bosque), sugiere que se han implementado (o coincidido) mecanismos de control, límites físicos o cambios en las dinámicas de ocupación del suelo que han permitido reducir la presión sobre los bosques.

Lo expuesto por Palacios et al. (2019) en el contexto de Iquitos resulta relevante para discutir la situación de ambas zonas de estudio. Si bien Rupa Rupa y Tocache no presentan un patrón de expansión urbana tan marcado como el de una gran ciudad amazónica como Iquitos, sí comparten un patrón de cambio en el uso de la tierra que ocasiona la pérdida de vegetación, principalmente por la expansión agrícola (café, cacao, arroz, maíz, palma, etc.) y la apertura de vías, tal como también señalan el GCF-TF y el PNUD (2020).

La advertencia de Palacios et al. sobre los impactos negativos de la reducción de cobertura vegetal es plenamente aplicable aquí. La pérdida de bosque en Rupa Rupa y Tocache no solo implica una disminución de hábitat para especies de fauna —muchas de ellas endémicas o con áreas de distribución restringidas—, sino que puede contribuir a la degradación de ecosistemas clave y a la alteración de microclimas locales.

4.2. Análisis de la variación de precipitación y temperatura en los distritos de Rupa Rupa y Tocache

4.2.1. Análisis de consistencia estadística de datos meteorológicos

Según lo señalado por Colotti, Rodríguez y Blanco (2016), se establece que, para verificar la consistencia de una serie, esta debe superar al menos dos de las siguientes pruebas: identificación de valores atípicos (outliers), evaluación de la normalidad de las series climáticas y análisis de la homogeneidad de dichas series.

4.2.1.1. Determinación de Outliers o valores atípicos

a) Pruebas estadísticas (Dixon y Grubbs) para el parámetro de temperatura mínima

Pruebas realizadas para el distrito de Rupa Rupa

Se muestran los resultados de las pruebas de Dixon y Grubbs, aplicadas mediante el programa XLSTAT, con el propósito de identificar valores atípicos en la serie de Temperatura Mínima de la estación de Tingo María. Dichos resultados corresponden al análisis de los promedios mensuales obtenidos a partir de 18 años de registros diarios de temperatura mínima, comprendidos en el periodo 2003 – 2020 (Tabla 6).

Tabla 6. Valores obtenidos de las pruebas de Dixon y Grubbs (temperatura mínima), estación de Tingo María.

	MESES											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Valor – p (Dixon)	0.358	0.793	0.827	0.045	0.374	0.913	0.108	0.136	0.232	0.023	0.037	0.508
Valor – p (Grubbs)	0.653	1.000	1.000	0.023	1.000	1.000	0.234	0.188	0.211	0.012	0.057	0.403

Interpretación de la prueba:

H₀: No existen valores atípicos en la serie de datos.

H_a : El valor mínimo o máximo identificado corresponde a un valor atípico.

Dado que en la mayoría de los meses el valor p obtenido fue superior al nivel de significancia $\alpha = 0,05$, no se rechazó la hipótesis nula (H_0), concluyéndose que no existen valores atípicos en dichos periodos. Sin embargo, para el mes de abril del año 2011 y para el mes de octubre del año 2016, tanto la prueba de Dixon como la prueba de Grubbs arrojaron valores p inferiores a $\alpha = 0,05$. En consecuencia, se rechazó H_0 y se aceptó la hipótesis alternativa (H_a), confirmando la presencia de un valor atípico en esos meses. Asimismo, para el mes de noviembre del año 2015, la prueba de Dixon también indicó la existencia de un valor atípico (Figura 18).

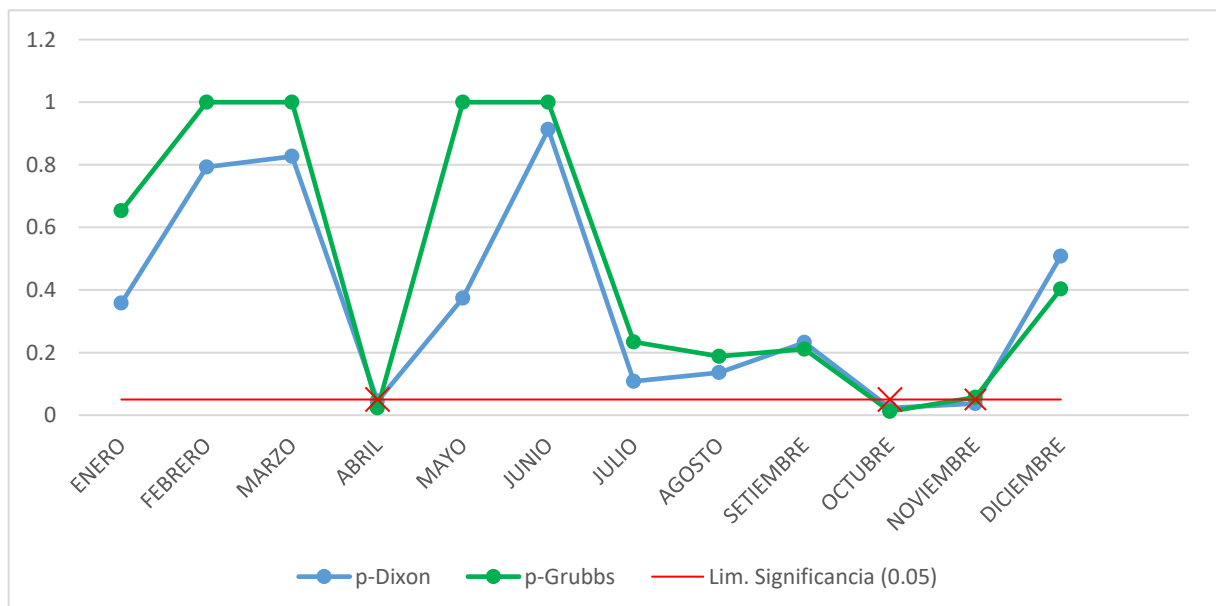


Figura 16. Valores – p de las pruebas de Dixon y Grubbs de las series de temperatura mínima del distrito de Rupa Rupa.

Prueba estadística para el distrito de Tocache

De manera similar, los resultados obtenidos evidencian que, para dicha estación, las pruebas de Dixon y Grubbs sobre la temperatura mínima muestran la presencia de valores atípicos estadísticamente significativos (Tabla 7).

Tabla 7. Valores obtenidos de las pruebas de Dixon y Grubbs (temperatura mínima), estación de Tananta.

	MESES											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Valor – p (Dixon)	0.701	0.913	0.131	0.023	0.147	0.986	0.390	0.338	<0.0001	0.093	0.972	0.409
Valor – p (Grubbs)	1.000	0.438	0.041	0.016	0.017	1.000	0.164	0.204	0.657	0.030	0.842	0.330

Interpretación de la prueba:

H_0 : No existen valores atípicos en la serie de datos.

H_a : El valor mínimo o máximo identificado corresponde a un valor atípico.

En la mayoría de los meses, el valor p obtenido fue superior al nivel de significancia $\alpha = 0,05$; por consiguiente, no se rechazó la hipótesis nula (H_0). Sin embargo, en los meses de abril de 2011, así como septiembre de 2008 y 2015, la prueba de Dixon reportó valores p inferiores a $\alpha = 0,05$. Del mismo modo, la prueba de Grubbs evidenció valores p menores al nivel de significación para los meses de marzo de 2010, abril de 2011, mayo de 2006 y octubre de 2016. En ambos tipos de prueba, estos resultados llevaron al rechazo de H_0 y a la aceptación de la hipótesis alternativa (H_a), confirmándose la presencia de valores atípicos en dichos periodos. (**Figura 19**).

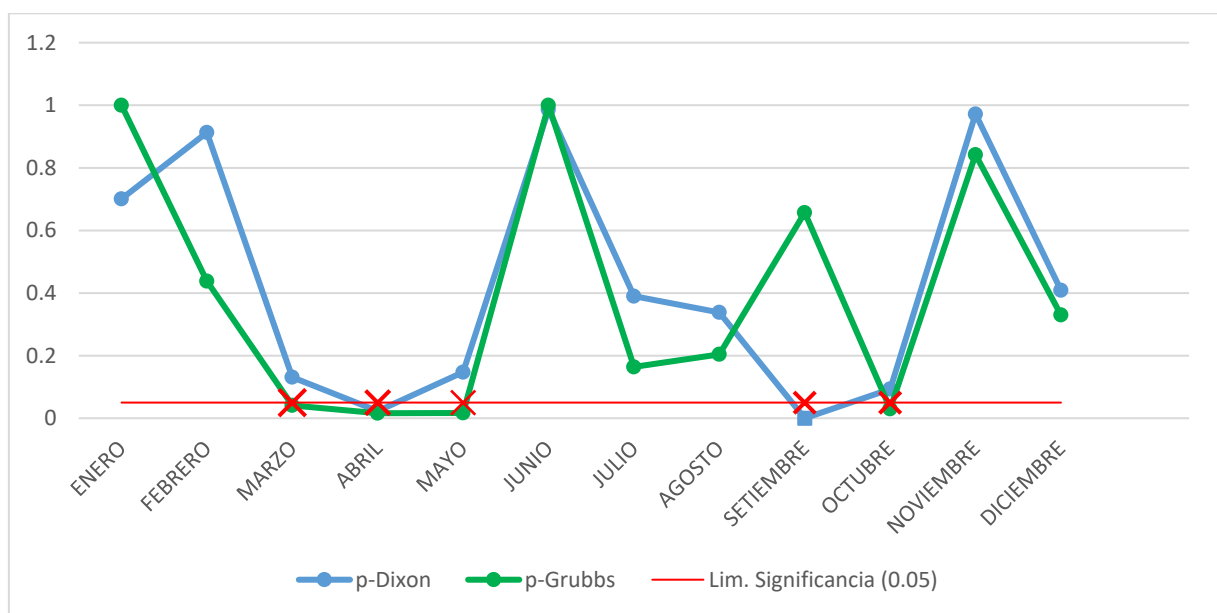


Figura 17. Valores – p de las pruebas de Dixon y Grubbs de las series de temperatura mínima del distrito de Tocache.

La evaluación de valores atípicos mediante las pruebas de Dixon y Grubbs constituye una etapa esencial para garantizar la consistencia de las series climáticas, tal como establecen Colotti et al. (2016), quienes señalan que antes de analizar tendencias o variaciones, es necesario verificar que los valores extremos correspondan a fenómenos reales y no a errores de registro.

En la estación Tingo María, ambas pruebas coinciden en señalar la presencia de posibles valores atípicos en los meses de abril (Dixon $p=0.045$; Grubbs $p=0.023$) y octubre (Dixon $p=0.023$; Grubbs $p=0.012$). Asimismo, la prueba de Dixon identifica un posible valor atípico adicional en noviembre ($p=0.037$), aunque este no se confirma con Grubbs. Este comportamiento es coherente con lo descrito por Colotti et al. (2005), quienes explican que inconsistencias puntuales pueden originarse por fallas instrumentales, errores de lectura o cambios en las condiciones del entorno de la estación.

En la estación Tananta, las pruebas muestran indicios de valores atípicos en un mayor número de meses. La prueba de Dixon detecta valores atípicos en abril ($p=0.023$) y, de manera destacada, en setiembre, donde el valor p es <0.0001 , lo que indica una anomalía clara en la serie. Por su parte, la prueba de Grubbs confirma valores atípicos en marzo ($p=0.041$), abril ($p=0.016$), mayo ($p=0.017$) y octubre ($p=0.030$). La coincidencia entre ambos métodos en los meses de abril y octubre refuerza la posibilidad de que estos valores correspondan a registros inusuales.

Siguiendo lo planteado por Wilks (2011) (incluido en tu revisión), es importante considerar que no todo valor estadísticamente atípico representa un error, pues algunos pueden reflejar condiciones climáticas reales y extremas. Por ello, de acuerdo con Guenni et al. (2008), resulta necesario contrastar estos resultados con metadatos de la estación o con estaciones cercanas, a fin de distinguir si las anomalías corresponden a variaciones atmosféricas naturales o a fallas en el proceso de medición.

En ambas estaciones, la mayoría de meses presentan valores p superiores a 0.05 tanto en Dixon como en Grubbs, lo que indica estabilidad general en las series de temperatura mínima. Esto concuerda con lo señalado por Cruz (2010), quien afirma que una serie climática homogénea debe mostrar un comportamiento estable en el tiempo, con variaciones atribuibles únicamente a causas naturales.

Finalmente, los resultados muestran que, aunque existen meses con valores extremos que requieren revisión puntual, las series de temperatura mínima de Tingo María y Tananta presentan un comportamiento mayoritariamente consistente. Esto permite avanzar hacia el análisis de normalidad, homogeneidad y tendencias, tal como sugieren Colotti et al. (2016) en el marco del análisis de consistencia climática.

b) Pruebas estadísticas (Dixon y Grubbs) para el parámetro de temperatura máxima

Pruebas realizadas para el distrito de Rupa Rupa

En el caso del distrito de Rupa Rupa, los resultados de la prueba de Grubbs para la temperatura máxima evidencian la existencia de valores atípicos estadísticamente significativos en el mes de agosto ($p < 0,05$) (Tabla 8).

Tabla 8. Valores obtenidos de las pruebas de Dixon y Grubbs (temperatura máxima), estación de Tingo María.

	MESES											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Valor – p (Dixon)	0.045	0.751	0.701	0.948	0.627	0.303	0.040	0.183	0.595	0.972	0.913	0.570
Valor – p (Grubbs)	0.134	1.00	0.633	0.957	0.943	0.242	0.104	0.069	0.472	1.00	1.00	0.773

Interpretación de la prueba:

H_0 : No existen valores atípicos en la serie de datos.

H_a : El valor mínimo o máximo identificado corresponde a un valor atípico.

En la mayoría de los meses, el valor-p obtenido fue superior al nivel de significancia $\alpha = 0,05$, por lo que no se rechazó la hipótesis nula (H_0). Sin embargo, en enero de 2016 y julio del año 2004, la prueba de Dixon arrojó un valor-p inferior a $\alpha = 0,05$, lo que condujo al rechazo de H_0 y a la aceptación de la hipótesis alternativa (H_a), confirmando la presencia de un valor atípico en dicho periodo (Figura 20).

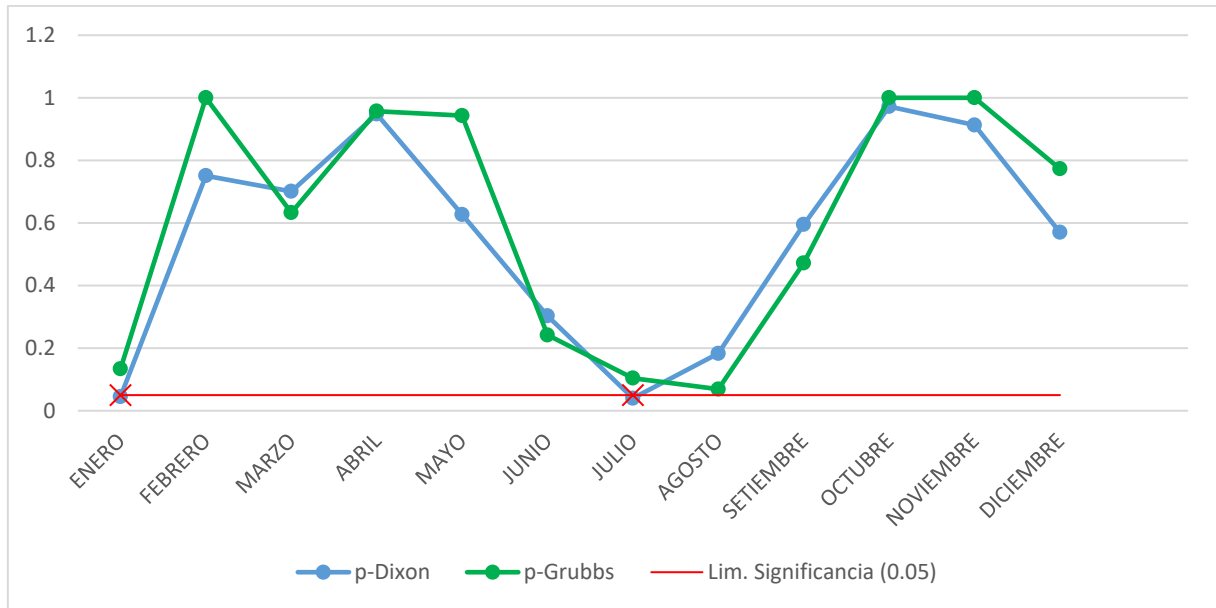


Figura 18. Valores – p de las pruebas de Dixon y Grubbs de las series de temperatura máxima del distrito de Rupa Rupa.

Prueba estadística para el distrito de Tocache

Se exponen los resultados de las pruebas de Dixon y Grubbs, aplicadas mediante el programa XLSTAT, con el objetivo de identificar los valores atípicos en la serie de Temperatura Máxima registrada en la estación de Tananta (Tabla 9).

Tabla 9. Valores obtenidos de las pruebas de Dixon y Grubbs (temperatura máxima), estación de Tananta.

	MESES											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Valor – p (Dixon)	0.108	<0.0001	0.827	0.986	0.709	0.532	0.986	0.232	0.595	0.443	0.607	0.896
Valor – p (Grubbs)	0.057	1.00	0.882	0.776	0.712	1.00	0.760	0.565	0.283	0.583	0.963	0.979

Interpretación de la prueba:

H_0 : No existen valores atípicos en la serie de datos.

H_a : El valor mínimo o máximo identificado corresponde a un valor atípico.

En la mayoría de los meses, el valor-p obtenido fue superior al nivel de significancia $\alpha = 0,05$, por lo que no se rechazó la hipótesis nula (H_0). No obstante, aunque la prueba de Grubbs no detectó valores atípicos para febrero ($p = 1.00$), la prueba de Dixon sí identificó el

valor mínimo de 33,0 °C (correspondiente a los años 2009 y 2011) como potencial valor atípico ($p < 0.0001$). Esta discrepancia se explica por la distinta sensibilidad de ambas pruebas: Grubbs evalúa la desviación del dato extremo respecto al promedio, mientras que Dixon se enfoca en la posición relativa del valor dentro del rango total de observaciones. Por ello, los resultados deben interpretarse considerando el contexto climatológico y no únicamente los criterios estadísticos (Figura 21).

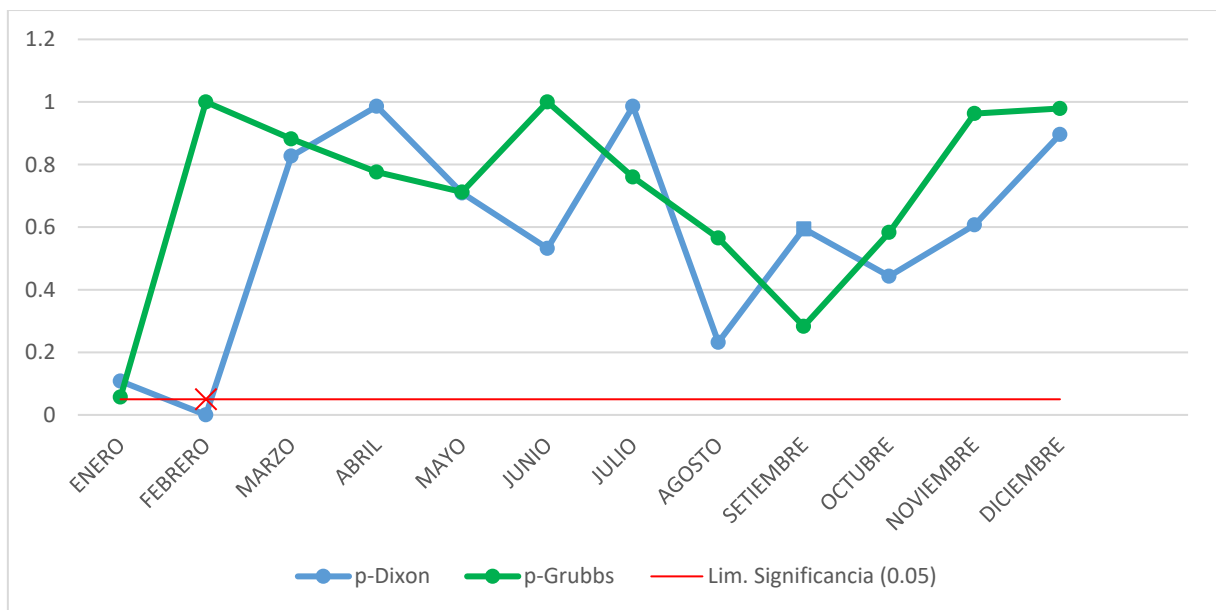


Figura 19. Valores – p de las pruebas de Dixon y Grubbs de las series de temperatura máxima del distrito de Tocache.

La aplicación de las pruebas de Dixon y Grubbs para la temperatura máxima en ambas estaciones permite identificar valores extremos que podrían afectar la consistencia de las series climáticas. Este procedimiento es coherente con lo expuesto por Colotti et al. (2016), quienes destacan que la detección de valores atípicos constituye un paso indispensable antes de realizar análisis de tendencias o estudios comparativos.

En la estación de Tingo María, la prueba de Dixon reporta valores p menores a 0.05 en los meses de enero ($p=0.045$) y julio ($p=0.040$), indicando la presencia de posibles valores atípicos. Por su parte, la prueba de Grubbs no confirma estos valores, pues en ambos meses presenta $p > 0.05$. Esta falta de coincidencia entre pruebas, tal como señala Wilks (2011), sugiere que los valores detectados como extremos por Dixon podrían corresponder a

variaciones naturales y no necesariamente a errores de medición, por lo que no deben descartarse sin un análisis contextual adicional.

El resto de meses presenta valores p superiores a 0.05 en ambas pruebas, lo que sugiere que la serie es estable y que los registros de temperatura máxima no muestran anomalías significativas en la mayor parte del periodo evaluado. Esto coincide con la afirmación de Cruz (2010), quien señala que una serie climática homogénea se caracteriza por presentar estabilidad en el tiempo sin valores extremos que alteren la lectura general del comportamiento climático.

En la estación de Tananta, la prueba de Dixon identifica un valor atípico muy marcado en febrero, con un valor $p < 0.0001$. Este resultado señala una anomalía evidente en la serie de temperatura máxima para dicho mes. Sin embargo, la prueba de Grubbs no confirma este valor, dado que obtiene $p > 0.05$. Esta discrepancia entre los métodos, según Colotti et al. (2016), requiere una revisión de metadatos o una comparación con estaciones cercanas, puesto que podría tratarse tanto de un error instrumental como de un evento climático extremo.

Para el resto de meses, tanto Dixon como Grubbs muestran valores p no significativos, lo que indica que la temperatura máxima se comporta de manera estable en la mayor parte del año. Este patrón se ajusta a lo descrito por Guenni et al. (2008), quienes enfatizan la importancia de verificar si los valores extremos se replican en estaciones vecinas para determinar si corresponden a fenómenos reales o a errores de registro.

c) Pruebas estadísticas (Dixon y Grubbs) para el parámetro de precipitación

Pruebas realizadas para el distrito de Rupa Rupa

Se presentan los resultados de las pruebas de Dixon y Grubbs, aplicadas mediante el programa XLSTAT, con el fin de identificar los valores atípicos en la serie de datos de Precipitación correspondiente a la estación de Tingo María (Tabla 10).

Tabla 10. Valores obtenidos de las pruebas de Dixon y Grubbs (precipitación), estación de Tingo María.

	MESES											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Valor – p (Dixon)	0.372	0.311	0.396	0.523	0.706	0.080	0.895	0.022	0.891	0.513	0.117	0.469
Valor – p (Grubbs)	0.965	0.437	0.953	0.302	0.820	0.037	1.00	0.442	0.705	1.00	0.126	0.470

Interpretación de la prueba:

H_0 : No existen valores atípicos en la serie de datos.

H_a : El valor mínimo o máximo identificado corresponde a un valor atípico.

En la mayoría de los meses, los valores-p obtenidos fueron superiores al nivel de significancia $\alpha = 0,05$, por lo que no se rechazó la hipótesis nula (H_0). No obstante, en los meses de agosto de 2003 y 2013, la prueba de Dixon arrojó valores-p inferiores a $\alpha = 0,05$, lo que condujo al rechazo de H_0 y, por tanto, a la confirmación de la presencia de valores atípicos en dichos periodos. De manera similar, para junio de 2007, la prueba de Grubbs también identificó un valor atípico (Figura 22).

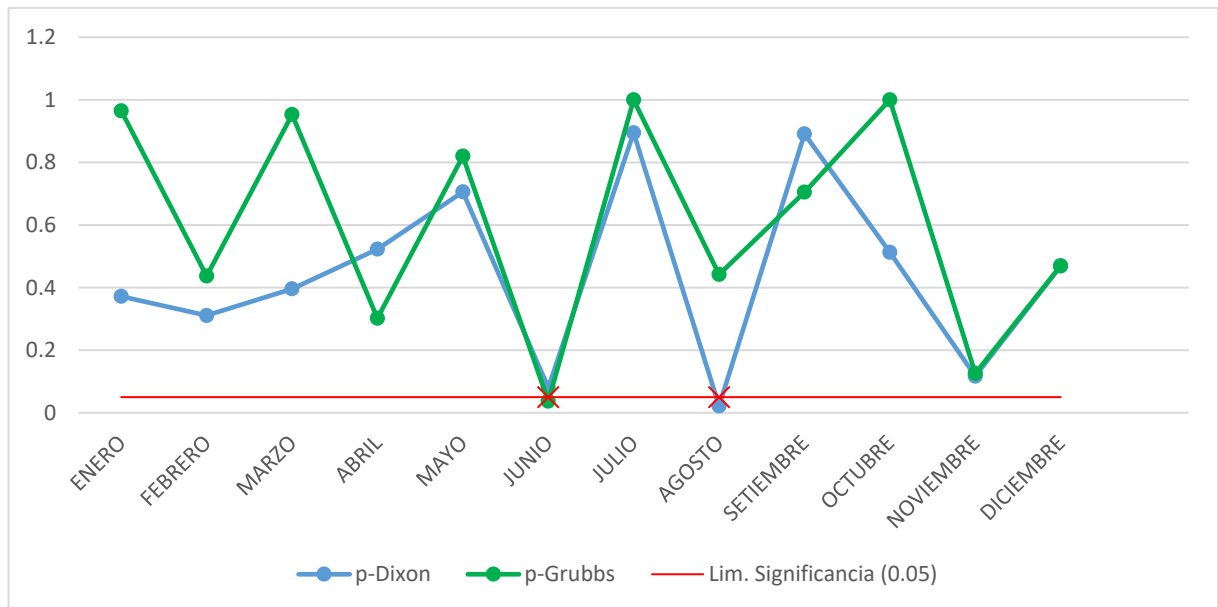


Figura 20. Valores – p de las pruebas de Dixon y Grubbs de las series de precipitación del distrito de Rupa Rupa.

Pruebas realizadas para el distrito de Tocache

Se exponen los resultados de las pruebas de Dixon y Grubbs, efectuadas mediante el programa XLSTAT, con el propósito de identificar los valores atípicos en la serie de datos de precipitación correspondiente a la estación de Tananta (Tabla 11).

Tabla 11. Valores obtenidos de las pruebas de Dixon y Grubbs (precipitación), estación de Tananta.

	MESES											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Valor – p (Dixon)	0.526	<0.0001	0.935	0.502	0.452	0.014	0.137	0.933	0.812	0.494	0.218	0.920
Valor – p (Grubbs)	0.627	<0.0001	0.628	0.075	0.073	0.008	0.059	0.871	1.00	0.808	0.348	0.933

H_0 : No existen valores atípicos en la serie de datos.

H_a : El valor mínimo o máximo identificado corresponde a un valor atípico.

En la mayoría de los meses, los valores-p calculados fueron superiores al nivel de significancia $\alpha = 0,05$, por lo que no se rechazó la hipótesis nula (H_0). Sin embargo, la prueba de Dixon identificó valores atípicos en febrero de 2011 y junio de 2005, al obtenerse valores-p inferiores a $\alpha = 0,05$. De manera similar, la prueba de Grubbs evidenció valores atípicos en febrero de 2011 y junio de 2005 ya que en estos casos el valor-p fue menor al nivel de significación. En consecuencia, se rechaza H_0 y se acepta la hipótesis alternativa (H_a), confirmando la presencia de valores atípicos en dichos periodos (Figura 23).

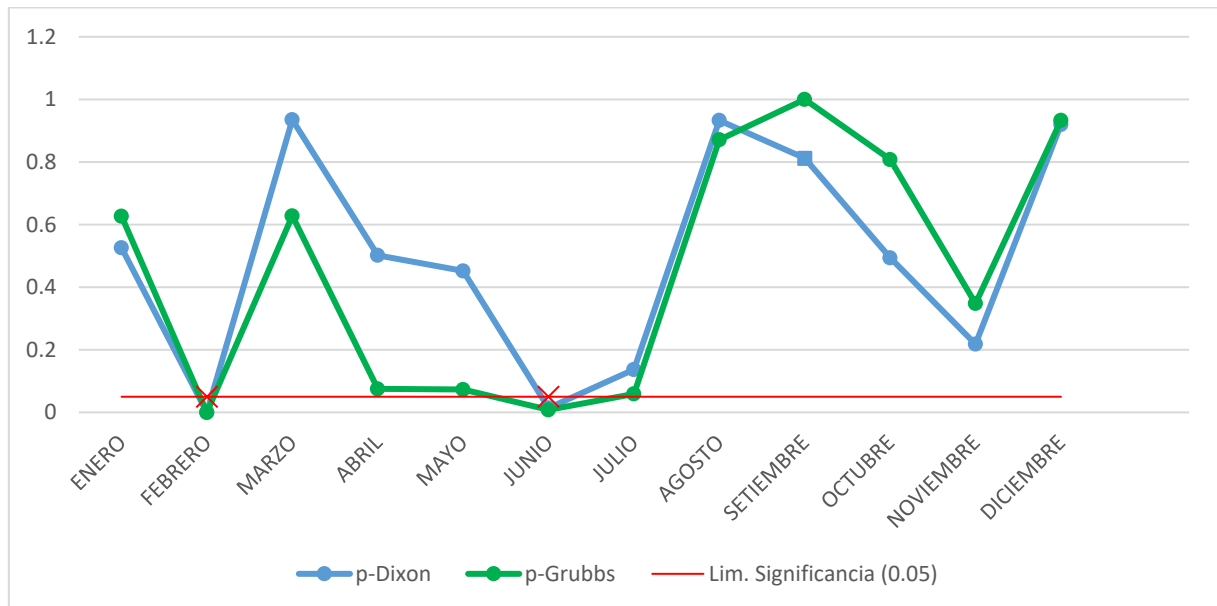


Figura 21. Valores – p de las pruebas de Dixon y Grubbs de las series de precipitación del distrito de Tocache.

Los valores atípicos identificados en las series de precipitación de Tingo María y Tananta muestran patrones coherentes con los procesos hidrometeorológicos y de cambio de cobertura descritos en la revisión. En Tingo María se detectaron anomalías en agosto de 2003

y 2013 (prueba de Dixon, $p < 0,05$) y en junio de 2007 (Grubbs, $p < 0,05$). De manera similar, en Tananta se identificaron outliers en febrero de 2011 y junio de 2005, según ambas pruebas ($p < 0,05$).

Los resultados de las pruebas de Dixon y Grubbs aplicadas a los registros de precipitación de las estaciones de Tingo María y Tananta muestran diferencias en la consistencia de las series climáticas. En Tingo María, la mayoría de los valores- p son mayores a 0,05, indicando que los datos son generalmente homogéneos y que los pocos valores atípicos detectados en junio y agosto podrían corresponder a eventos extremos puntuales, coherentes con la variabilidad natural de la región, tal como señalan Colotti et al. (2016) y Wilks (2011). Por otro lado, en Tananta se detectan outliers significativos en febrero y junio, lo que sugiere la presencia de eventos extremos o posibles errores instrumentales, lo cual requiere atención antes de realizar análisis de tendencias y correlaciones con deforestación. Estos hallazgos son consistentes con la literatura que indica que la pérdida de cobertura forestal puede alterar los ciclos hidrológicos y la precipitación local (Burga, 2024; Mori, 2022), y refuerzan la importancia de evaluar la homogeneidad de las series meteorológicas para estudios de cambio climático y planificación ambiental (Espinoza, 2011; Durand y Guerrero, 2023).

4.2.1.2. Determinación de la normalidad de la serie

a) Prueba estadística de normalidad (Shapiro-Wilk) para los parámetros de temperatura mínima, máxima y precipitación

Prueba de normalidad para la ciudad de Tingo María

Se presentan los resultados de la prueba de Shapiro-Wilk, con el propósito de evaluar la normalidad en las series de temperatura mínima, temperatura máxima y precipitación correspondientes a la estación de Tingo María (Tabla 12).

Tabla 12. Valores -p de la prueba (Shapiro- Wilk) de los parámetros de temperatura mínima, máxima y precipitación Software XLSTAT, estación de Tingo María.

	MESES											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Valor – p Temperatura mínima	0.875	0.243	0.074	0.023	0.335	0.136	0.938	0.874	0.503	0.076	0.320	0.251
Valor – p Temperatura máxima	0.236	0.095	0.506	0.587	0.071	0.770	0.269	0.358	0.563	0.070	0.764	0.996
Valor – p Precipitación	0.692	0.569	0.626	0.566	0.330	0.352	0.148	0.005	0.607	0.210	0.872	0.753

Interpretación de la prueba:

H₀: La variable analizada sigue una distribución normal.

H_a: La variable analizada no sigue una distribución normal.

Los resultados de la prueba de normalidad Shapiro-Wilk indican que las series de temperatura mínima, temperatura máxima y precipitación de la estación de Tingo María presentan comportamientos mayoritariamente consistentes con una distribución normal, con valores-p superiores a 0,05 en la mayoría de los meses.

No obstante, se observan excepciones, como la temperatura mínima en abril ($p = 0,023$) y la precipitación en agosto ($p = 0,005$), que sugieren desviaciones significativas de la normalidad. Esto es relevante para el análisis de tendencias y correlaciones, ya que, según Zuur et al. (2007), la precipitación difícilmente se ajusta a una distribución normal, por lo que aplicar pruebas sin transformaciones adecuadas puede conducir a interpretaciones erróneas.

Asimismo, Wilks (2011) enfatiza que no todos los valores atípicos o desviaciones de normalidad son errores; algunos pueden corresponder a fenómenos meteorológicos reales que deben analizarse en su contexto físico-climático. En consecuencia, estos resultados confirman la necesidad de un análisis cuidadoso de la homogeneidad y consistencia de las series climáticas, como se señala también por Colotti et al. (2016) y Cruz (2010), asegurando que los datos reflejen variaciones naturales del clima antes de realizar evaluaciones sobre la relación entre deforestación y variables atmosféricas en Tingo María (Figura 24).

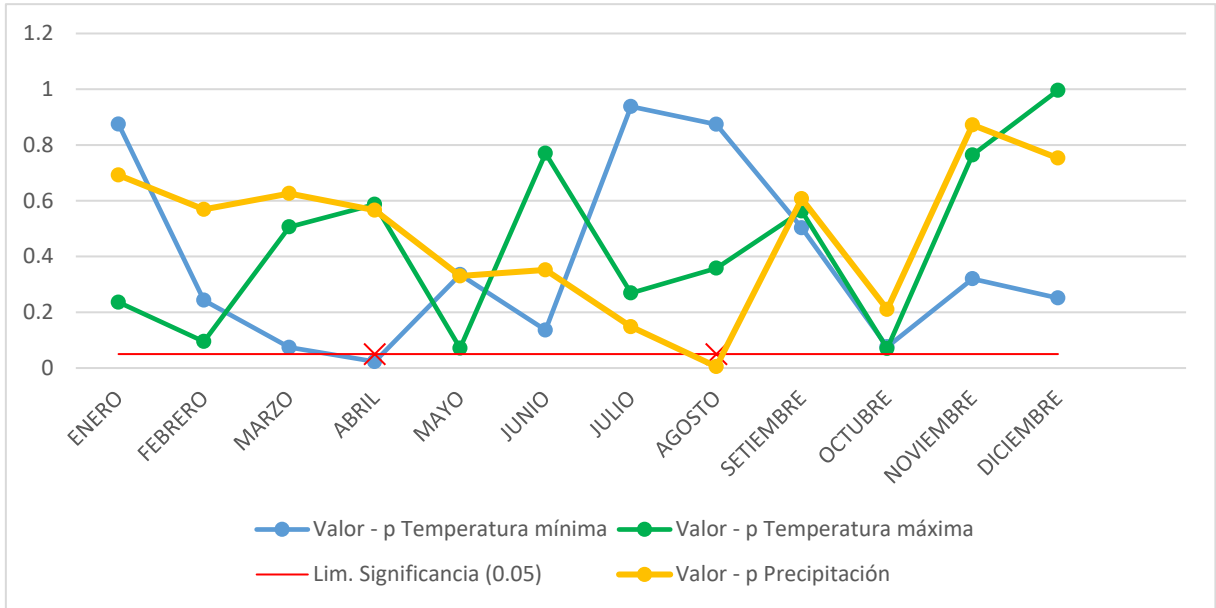


Figura 22. Valores – p (Shapiro Wilk), de las series de T. Min, T. Max y precipitación del distrito de Rupa Rupa.

b) Prueba estadística de normalidad (Shapiro-Wilk) para los parámetros de temperatura mínima, máxima y precipitación

Prueba de normalidad para la ciudad de Tocache

Se presentan los resultados de la prueba de Shapiro-Wilk, con el objetivo de evaluar la normalidad en las series de temperatura mínima, temperatura máxima y precipitación correspondientes a la estación de Tananta (Tabla 13).

Tabla 13. Valores -p de la prueba (Shapiro- Wilk) de los parámetros de temperatura mínima, máxima y precipitación Software XLSTAT, estación de Tananta.

	MESES											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Valor – p Temperatura mínima	0.141	0.149	0.037	0.092	0.009	0.070	0.118	0.154	0.176	0.127	0.323	0.891
Valor – p Temperatura máxima	0.326	0.167	0.811	0.396	0.064	0.468	0.343	0.757	0.652	0.224	0.732	0.761
Valor – p Precipitación	0.470	0.000	0.348	0.005	0.153	0.023	0.019	0.628	0.558	0.991	0.780	0.434

Interpretación de la prueba:

H₀: La variable analizada sigue una distribución normal.

H_a: La variable analizada no sigue una distribución normal.

Los resultados de la prueba Shapiro-Wilk para la estación de Tananta muestran que las series de temperatura mínima, temperatura máxima y precipitación presentan, en su mayoría, una distribución cercana a la normal; sin embargo, se identifican desviaciones significativas en algunos meses, como la temperatura mínima en marzo ($p = 0,037$) y mayo ($p = 0,009$), así como la precipitación en febrero ($p < 0,001$), abril ($p = 0,005$), junio ($p = 0,023$) y julio ($p = 0,019$).

Estos resultados son consistentes con lo indicado por Zuur et al. (2007), quienes señalan que la precipitación difícilmente se ajusta a una distribución normal y que la falta de normalidad puede afectar la interpretación de análisis estadísticos si no se aplican transformaciones o métodos apropiados.

Además, Wilks (2011) resalta que las desviaciones de normalidad no siempre reflejan errores en los datos, sino que pueden corresponder a fenómenos climáticos reales que deben considerarse en su contexto físico. Por ello, es necesario evaluar cuidadosamente la consistencia y homogeneidad de las series climáticas de Tananta antes de realizar análisis de tendencias o correlaciones con variables de deforestación, tal como enfatizan Colotti et al. (2016) y Cruz (2010), asegurando que los datos representen adecuadamente las variaciones naturales del clima (Figura 25).

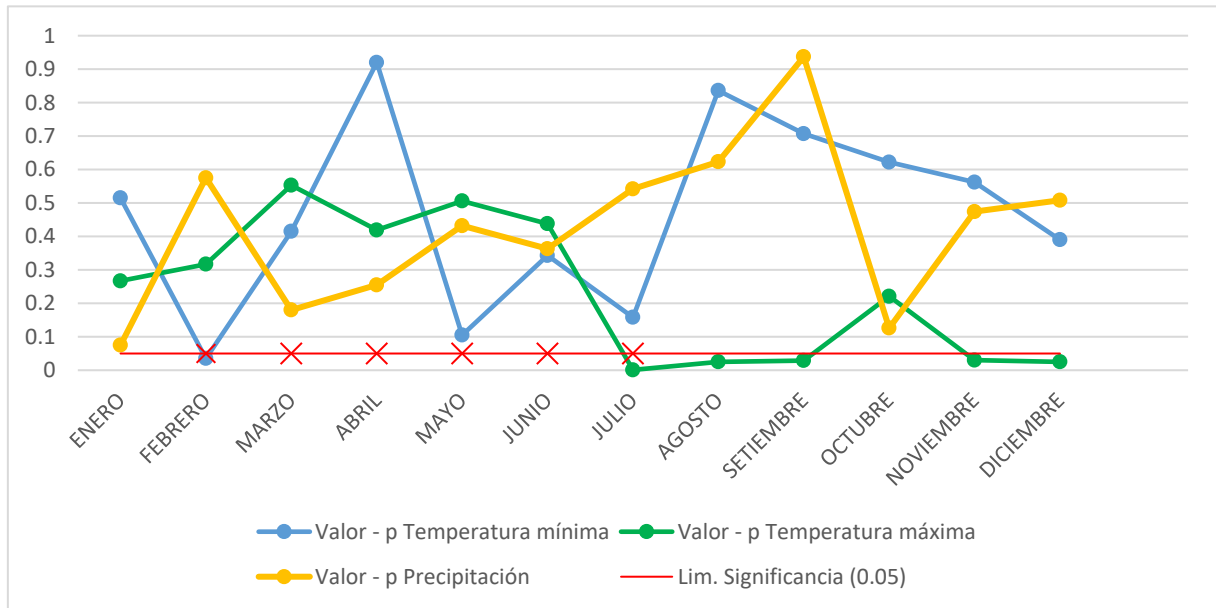


Figura 23. Valores – p (Shapiro Wilk), de las series de T. Min, T. Max y precipitación del distrito de Tocache.

4.2.1.3. Determinación de la homogeneidad de la serie

a) Prueba estadística de homogeneidad (Von Neuman) para T. Min, T. Max y Precipitación

Prueba estadística para la ciudad de Tingo María

Se presentan los resultados de la prueba de homogeneidad, basada en el coeficiente de Von Neumann, aplicada a las series de temperatura mínima, temperatura máxima y precipitación correspondientes a la estación del distrito de Rupa Rupa, ciudad de Tingo María (Tabla 14).

Tabla 14. Valores p de la prueba de homogeneidad para T. Min, T. Max y precipitación, estación de Tingo María.

	MESES											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Valor – p Temperatura mínima	0.515	0.035	0.415	0.920	0.105	0.343	0.158	0.836	0.707	0.622	0.562	0.390
Valor – p Temperatura máxima	0.267	0.317	0.553	0.419	0.506	0.438	0.001	0.025	0.029	0.221	0.030	0.025
Valor – p Precipitación	0.075	0.575	0.180	0.255	0.432	0.363	0.542	0.623	0.937	0.126	0.474	0.508

La evaluación de homogeneidad aplicada a las series de temperatura mínima, temperatura máxima y precipitación de la estación Tingo María muestra comportamientos diferenciados entre los parámetros. En la temperatura mínima, los valores p obtenidos para todos los meses son superiores a 0.05, lo que indica que la serie es homogénea. Este resultado coincide con lo señalado por Cruz (2010) y Colotti et al. (2016), quienes expresan que una serie puede considerarse homogénea cuando no se identifican cambios debidos a factores distintos a la variabilidad climática natural.

En el caso de la temperatura máxima, se observan meses con valores p inferiores a 0.05 (julio, agosto, septiembre y noviembre), lo que indica posibles rupturas en la serie. De acuerdo con Colotti (2005) y Zuur et al. (2007), la presencia de valores atípicos documentados o cambios en las características del punto de medición pueden afectar la consistencia de la serie. Por ello, los meses con indicios de no homogeneidad podrían estar asociados a alteraciones instrumentales o modificaciones en el entorno inmediato de la estación, tal como advierten los mencionados autores.

Respecto a la precipitación, todos los valores p son mayores a 0.05, lo que indica que la serie es homogénea. Esto concuerda con lo indicado por Guenni et al. (2008), quienes sostienen que una serie puede considerarse confiable cuando los cambios detectados no responden a interferencias externas, como relocalización del instrumental o modificaciones en el método de registro.

En conjunto, los resultados indican que en Tingo María la homogeneidad se mantiene en la temperatura mínima y en la precipitación, mientras que la temperatura máxima presenta meses con falta de consistencia, coherente con lo planteado en la literatura referida (Figura 26).

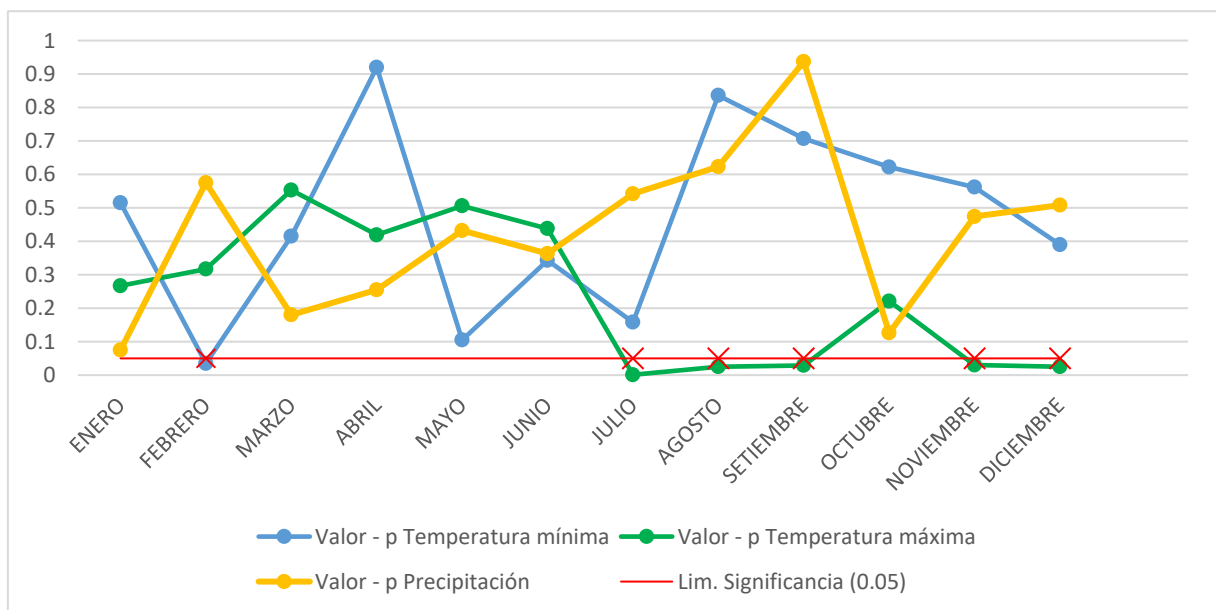


Figura 24. Valores – p de las pruebas de homogeneidad de las series de T. Min, T. Max y precipitación del distrito de Rupa Rupa.

Prueba estadística para la ciudad de Tocache

Se presentan los resultados de la prueba de homogeneidad, basada en el coeficiente de Von Neumann, aplicada a las series de temperatura mínima, temperatura máxima y precipitación correspondientes a la estación del distrito de Tocache (Tabla 15).

Tabla 15. Valores p de la prueba de homogeneidad para T. Min, T. Max y precipitación, estación de Tananta.

	MESES											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Valor – p Temperatura mínima	0.455	0.165	0.278	0.889	0.255	0.498	0.221	0.098	0.226	0.795	0.421	0.721
Valor – p Temperatura máxima	0.629	0.693	0.895	0.111	0.308	0.010	0.027	0.657	0.250	0.182	0.124	0.217
Valor – p Precipitación	0.721	0.041	0.178	0.656	0.088	0.294	0.154	0.151	0.819	0.922	0.495	0.179

En la estación Tananta, la temperatura mínima presenta valores p superiores a 0.05 en todos los meses, lo que indica que la serie es homogénea, conforme a los criterios establecidos por Cruz (2010) y Colotti et al. (2016), quienes señalan que una serie homogénea refleja únicamente la variabilidad climática y no efectos externos.

En la temperatura máxima, se identifican meses con valores p menores a 0.05 (junio, julio y septiembre), los cuales sugieren posibles rupturas. De acuerdo con Colotti (2005), estas inconsistencias pueden estar asociadas a cambios en la calibración, desgaste del instrumental o modificaciones en el entorno inmediato de la estación. Asimismo, Zuur et al. (2007) indican que este tipo de alteraciones pueden generar desviaciones que afectan la homogeneidad estadística.

Respecto a la precipitación, todos los valores p son mayores a 0.05, excepto febrero, que presenta un valor inferior al umbral, lo que constituye un indicio de no homogeneidad. Este comportamiento es coherente con lo señalado por Guenni et al. (2008), quienes explican que la precipitación puede verse afectada por cambios en el instrumental o reubicación, generando rupturas en la serie temporal.

En general, Tananta presenta series homogéneas en temperatura mínima y en la mayor parte de los meses de precipitación, mientras que la temperatura máxima evidencia

inconsistencias puntuales, alineándose con los conceptos establecidos en la literatura sobre la importancia de identificar y corregir cambios no climáticos en las series (Figura 27).

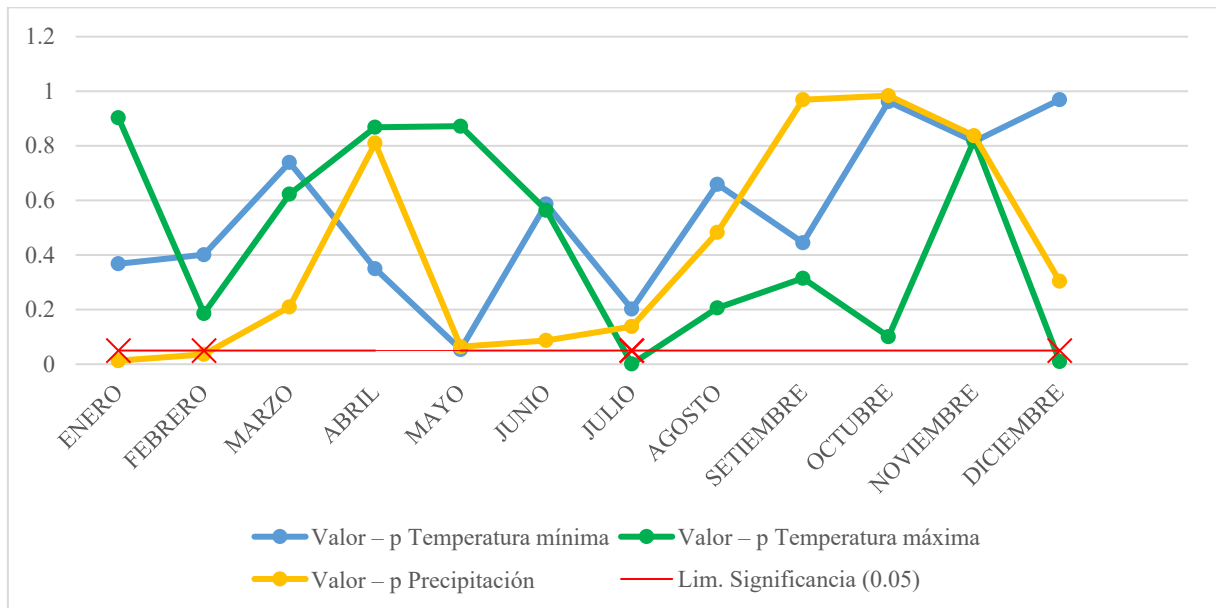


Figura 25. Valores - p de las pruebas de homogeneidad de las series de T. Min, T. Max y precipitación del distrito de Tocache.

4.2.2. Evaluación de la tendencia

4.2.2.1. Variabilidad mensual de la T. Min, T. Max y Precipitación

Guenni, Edgard y Alvarado (2008), menciona que antes de iniciar un estudio de las tendencias de datos meteorológicos en una región dada, es fundamental garantizar que los cambios observados en la media respondan a la dinámica natural del clima y no a alteraciones externas o errores en el registro de datos, lo cual ha sido confirmado (dinámica natural) con los resultados obtenidos en las pruebas de valores atípicos, normalidad y homogeneidad.

Con el uso del software XLSTAT, se aplicó la prueba no paramétrica de Mann-Kendall con el fin de evaluar la existencia de tendencias en las series de precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima correspondientes a ambas estaciones.

Interpretación de la prueba:

H_0 : No existe una tendencia en la serie.

H_a : La serie presenta una tendencia significativa.

El criterio de decisión establece que, si el valor-p calculado es mayor al nivel de significancia ($\alpha = 0,05$), no se rechaza la hipótesis nula (H_0), concluyéndose que no hay evidencia estadística de tendencia. En caso contrario, si el valor-p es menor o igual a α , se rechaza H_0 y se acepta H_a , determinando la presencia de una tendencia en la serie.

a) Prueba estadística de T. Min, T. Max y Precipitación de la ciudad de Tingo María

Los resultados de Mann-Kendall revelan patrones contrastantes en Tingo María (2003-2020) (Tabla 16).

Tabla 16. Valores - p de Mann - Kendall, de los parámetros en estudio, estación de Tingo María.

	MESES											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Valor - p Temperatura a mínima	0.106	0.147	0.617	0.759	0.161	0.152	0.491	0.759	0.673	0.645	0.560	0.760
Valor - p Temperatura a máxima	0.819	0.286	0.970	0.078	0.698	0.057	0.028	0.167	0.044	0.238	0.543	0.360
Valor - p Precipitación	0.081	1.00	0.940	0.596	0.383	0.289	0.596	1.00	1.00	0.622	0.880	1.00

Los resultados de la prueba de Mann-Kendall para la estación Tingo María muestran que la temperatura mínima no presenta valores p inferiores a 0.05 en ningún mes, lo que indica que no existen tendencias significativas en esta variable. Este resultado es coherente con lo señalado por Barreda (2004), quien destaca que las tendencias deben interpretarse con cautela y únicamente pueden afirmarse cuando los métodos estadísticos aplicados las respaldan de manera consistente. En este caso, la prueba no identifica cambios sistemáticos, por lo que no es posible afirmar la existencia de una tendencia.

Para la temperatura máxima, se identifican algunos meses con valores p inferiores a 0.05 (julio, septiembre y noviembre), lo que indica la presencia de tendencias significativas en esos meses específicos. Este comportamiento es compatible con los hallazgos

de Lale (2008), quien reportó variaciones mensuales en la temperatura máxima en Tingo María, lo que demuestra que los cambios térmicos no necesariamente se presentan de manera uniforme durante el año. La identificación de tendencias únicamente en meses aislados coincide con lo indicado por Espinoza (2011), quien señala que la variabilidad climática puede manifestarse en periodos específicos sin generar un patrón anual continuo.

En el caso de la precipitación, todos los valores p son mayores a 0.05, lo que indica que no se presentan tendencias significativas. Este comportamiento es consistente con los resultados de Revilla-Chávez et al. (2021), quienes analizaron series de precipitación en zonas amazónicas y no identificaron tendencias sostenidas a nivel mensual. Asimismo, coincide con las observaciones de Burga (2024), quien tampoco encontró evidencias claras de tendencia en la precipitación en la cuenca del Monzón.

En conjunto, los resultados indican que Tingo María no presenta tendencias significativas en la temperatura mínima ni en la precipitación, mientras que la temperatura máxima muestra tendencias aisladas en meses específicos, lo cual se ajusta a lo reportado en estudios previos para la región (Figura 28, Figura 29 y Figura 30).

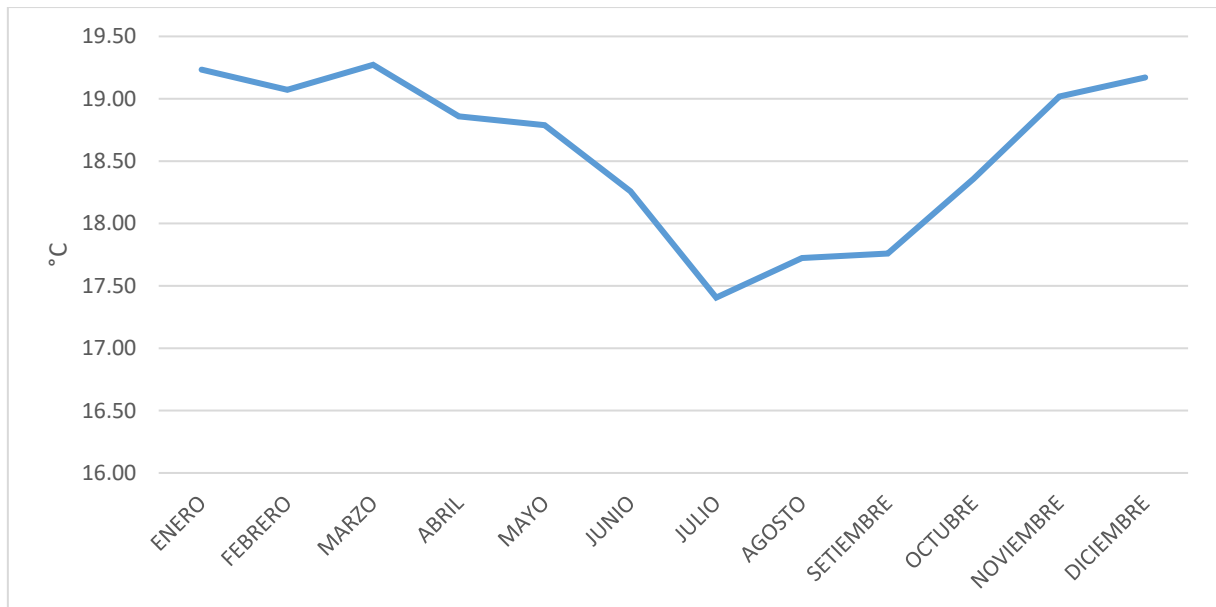


Figura 26. Comportamiento mensual de la temperatura mínima en la ciudad de Tingo María, periodo 2003 – 2020.

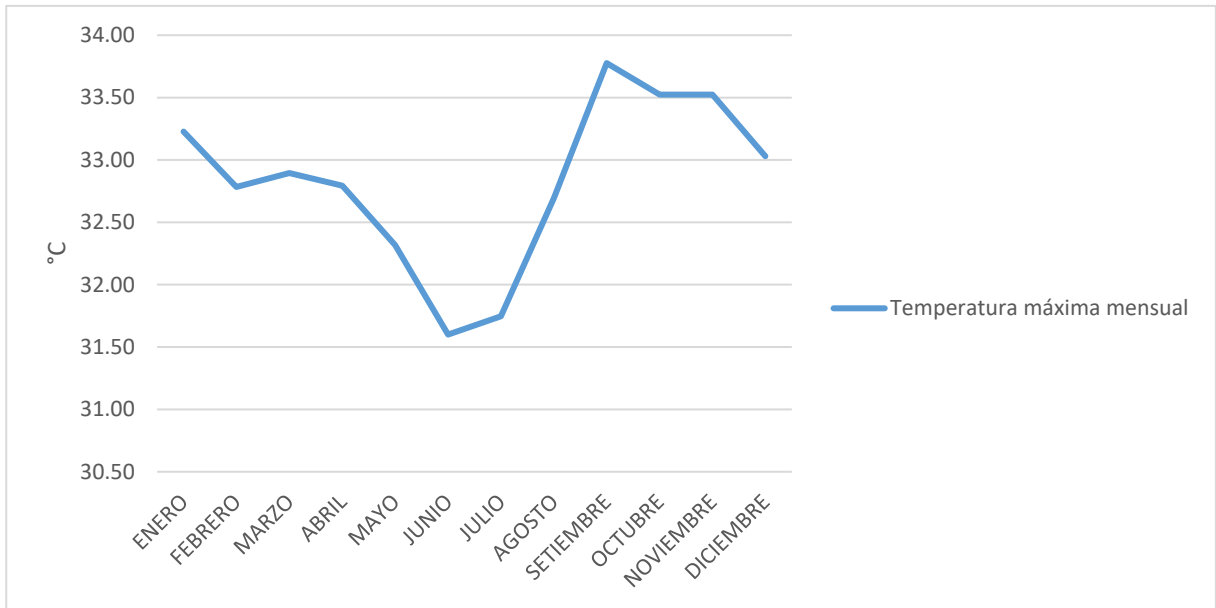


Figura 27. Comportamiento mensual de la temperatura máxima en la ciudad de Tingo María, periodo 2003 – 2020.

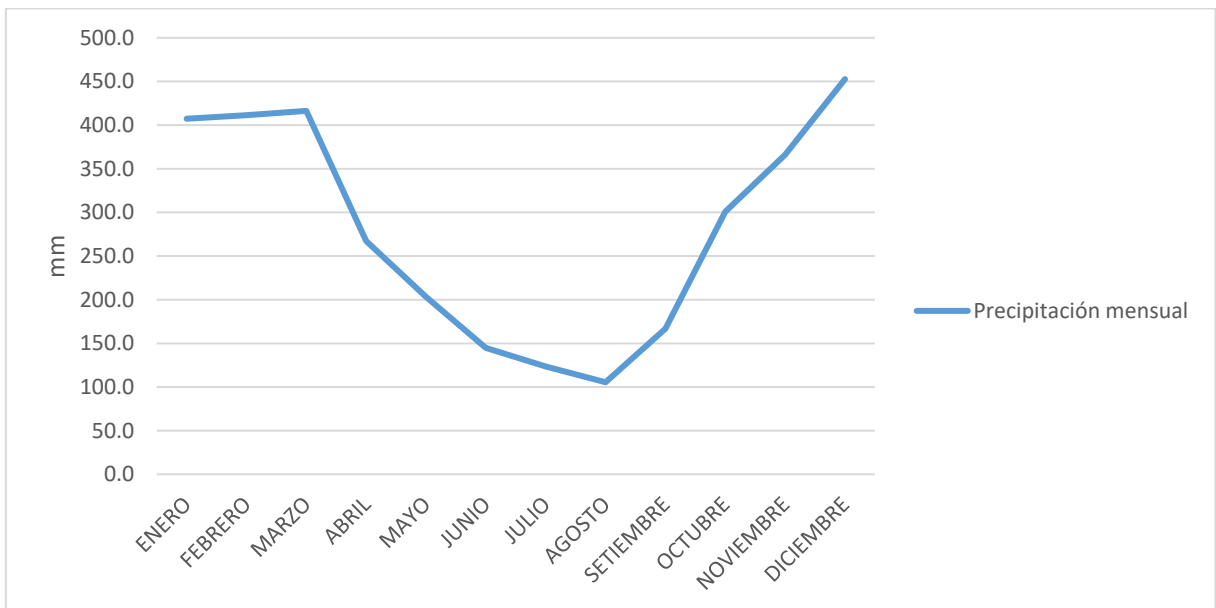


Figura 28. Comportamiento mensual de la precipitación en la ciudad de Tingo María.

b) Prueba estadística de T. Min, T. Max y Precipitación de la ciudad de Tocache

Se presentan los resultados de las pruebas de tendencia (Mann – Kendall), para el parámetro de temperatura mínima, temperatura máxima y precipitación para la ciudad de Tocache (Tabla 17).

Tabla 17. Valores - p de Mann - Kendall, de los parámetros en estudio, estación de Tananta.

	MESES											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Valor – p Temperatura mínima	0.106	0.147	0.617	0.759	0.161	0.152	0.491	0.759	0.673	0.645	0.560	0.760
Valor – p Temperatura máxima	0.819	0.286	0.970	0.078	0.698	0.057	0.028	0.167	0.044	0.238	0.543	0.360
Valor – p Precipitación	0.081	1.00	0.940	0.596	0.383	0.289	0.596	1.00	1.00	0.622	0.880	1.00

Los resultados de la prueba de Mann-Kendall para la estación Tananta muestran que la temperatura mínima presenta valores p superiores a 0.05 en todos los meses, lo que indica ausencia de tendencias significativas. Según lo indicado por Barreda (2004), esto significa que no es posible afirmar que existe una tendencia, dado que los métodos estadísticos no la respaldan. La estabilidad observada es acorde con la necesidad de que los resultados sean consistentes para poder confirmar un cambio en la serie temporal.

Respecto a la temperatura máxima, se identifican tres meses con valores p inferiores a 0.05 (junio, julio y septiembre), lo que evidencia la presencia de tendencias significativas en periodos específicos del año. Este comportamiento es similar al observado en Tingo María y coincide con lo reportado por Lale (2008), quien también describió variaciones mensuales en la temperatura máxima en zonas de la selva alta. Además, el hecho de que las tendencias no se presenten de forma continua a lo largo del año es coherente con lo expuesto por Espinoza (2011) sobre la variabilidad climática en la región amazónica.

En el caso de la precipitación, los valores p son superiores a 0.05 en todos los meses, con la excepción de enero (0.081), que no alcanza significancia. Esto indica que no existen tendencias significativas en este parámetro. Este comportamiento coincide con los

hallazgos de Revilla-Chávez et al. (2021), quienes identificaron estabilidad en las series de precipitación en regiones amazónicas. Asimismo, es consistente con lo señalado por Burga (2024), quien tampoco registró tendencias mensuales claras en la precipitación para zonas cercanas.

En síntesis, Tananta no presenta tendencias significativas en la temperatura mínima ni en la precipitación, mientras que la temperatura máxima muestra indicios de tendencia en algunos meses del año, lo cual se ajusta a los patrones reportados previamente en la literatura regional (Figura 31, Figura 32 y Figura 33).

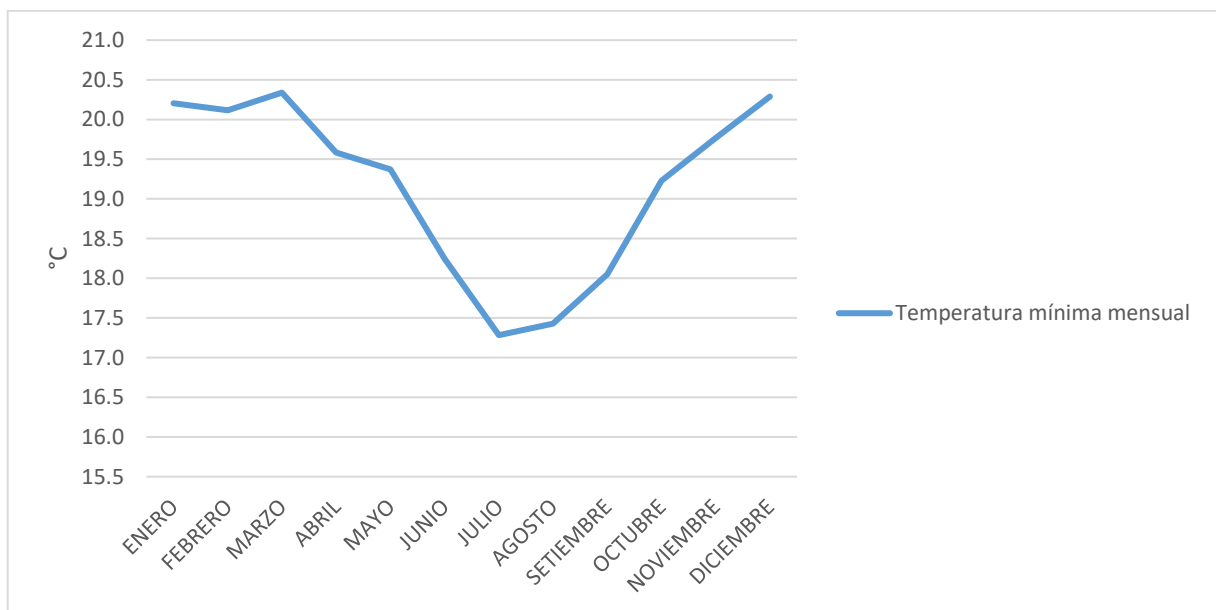


Figura 29. Comportamiento mensual de la temperatura mínima en la ciudad de Tocache.

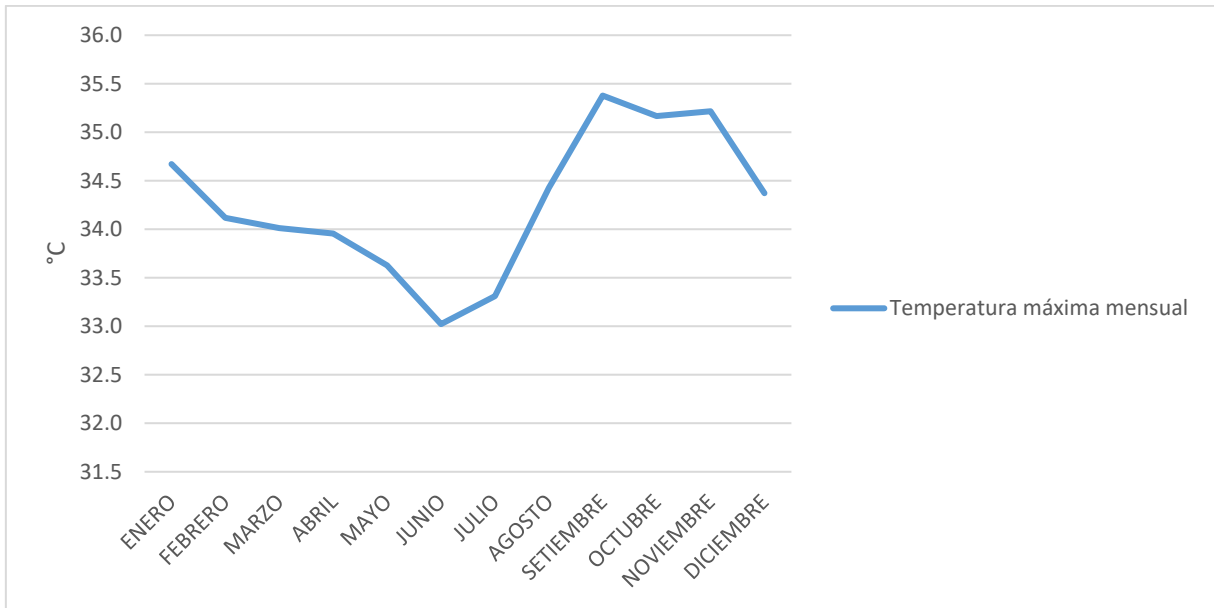


Figura 30. Comportamiento mensual de la temperatura máxima en la ciudad de Tocache.

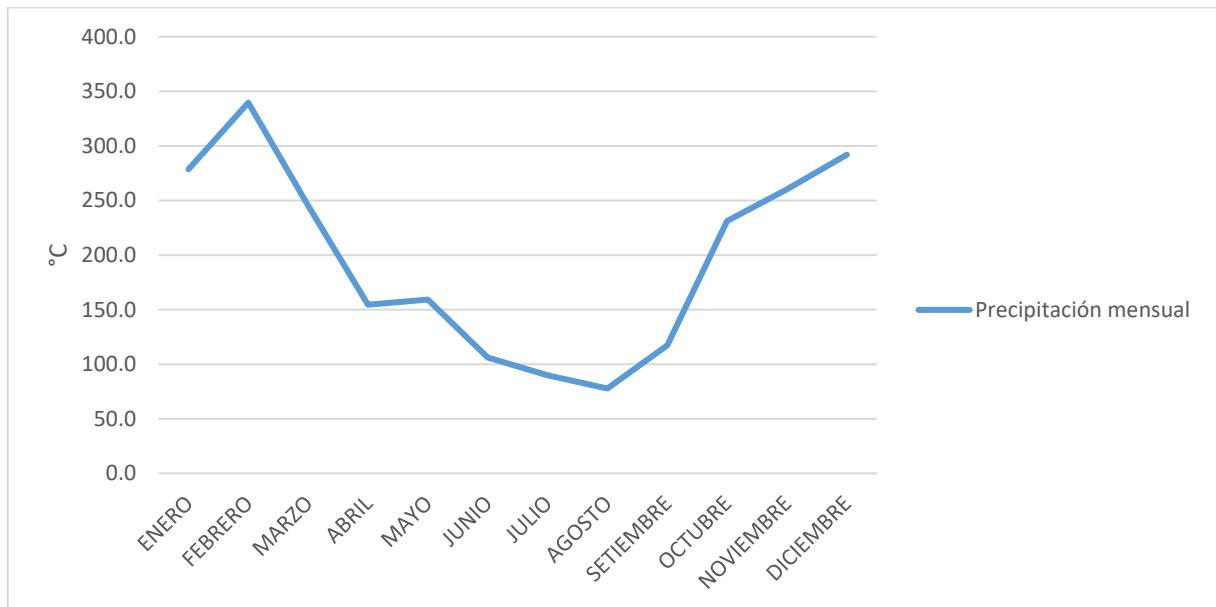


Figura 31. Comportamiento mensual de la precipitación en la ciudad de Tocache.

4.2.2.2. Variabilidad anual - temperatura mínima.

Se elaboraron gráficos de tendencia con el fin de analizar el comportamiento anual de la temperatura mínima. De acuerdo con Barreda (2004), las representaciones gráficas de series temporales constituyen una herramienta visual de gran utilidad para identificar posibles tendencias o cambios en el tiempo. No obstante, para afirmar la existencia de una tendencia en una serie temporal, es necesario que todos los métodos aplicados respalden dicha hipótesis; en caso de que alguno de ellos no lo confirme, debe asumirse que no es posible sostener con certeza la existencia de la tendencia.

a) Ciudad de Tingo María.

Se puede apreciar la variabilidad de temperatura mínima media, de manera anual, registrada en la estación de Tingo María durante el periodo 2003–2020, la cual muestra una tendencia ascendente, con un incremento estimado de 0,0364 °C por año. Este resultado sugiere un progresivo calentamiento de las temperaturas mínimas en la zona, lo cual podría estar asociado a variaciones en la dinámica climática local y regional, así como a los efectos del cambio climático global. (Figura 34).

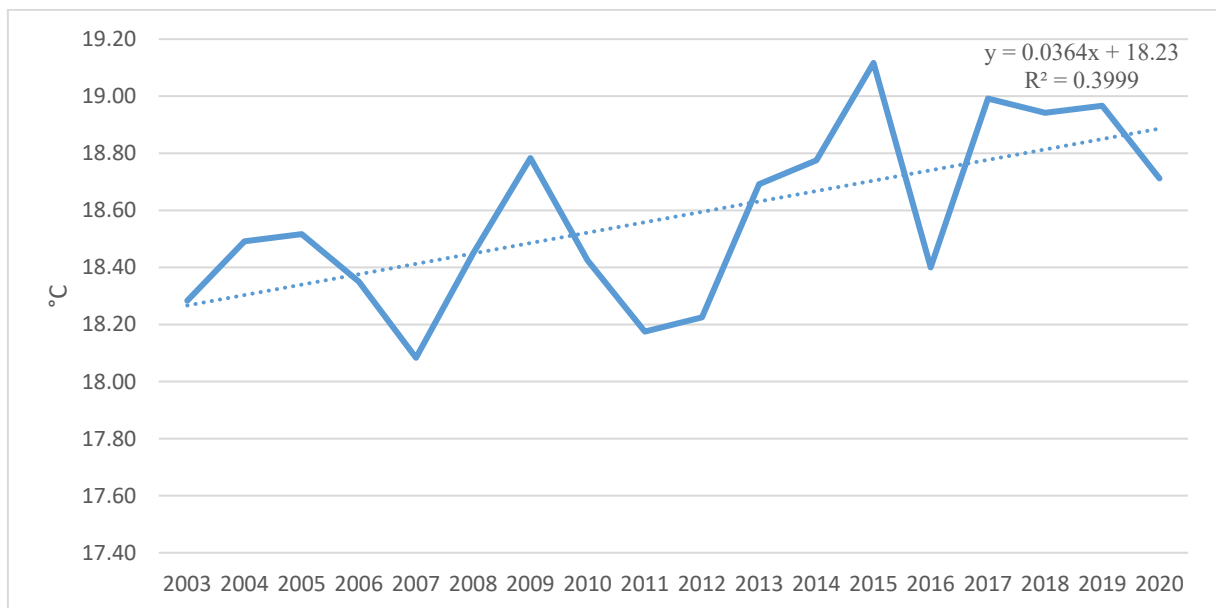


Figura 32. Variabilidad anual de la temperatura mínima del periodo 2003-2020, estación de Tingo María.

b) Ciudad de Tocache

La temperatura mínima media anual del periodo 2003 – 2020, para la estación de Tananta, tiene una tendencia ascendente, aumentando a un cambio o razón de 0.0043 °C por cada año (Figura 35).

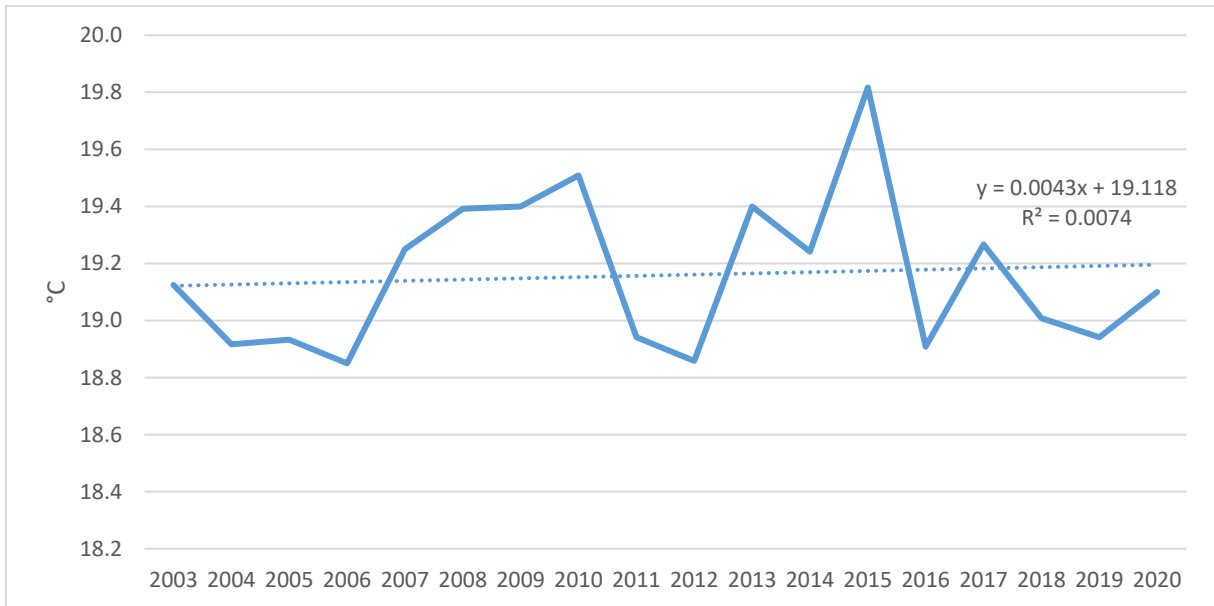


Figura 33. Variabilidad anual de la temperatura mínima del periodo 2003-2020, estación de Tananta.

La variabilidad anual de la temperatura mínima muestra tendencias ascendentes tanto en la estación Tingo María como en la estación Tananta (Tocache). En el caso de Tingo María, la pendiente obtenida ($0.0364\text{ }^{\circ}\text{C/año}$) indica un aumento progresivo en la temperatura mínima media anual durante el periodo 2003–2020. Para Tocache, el incremento es menor ($0.0043\text{ }^{\circ}\text{C/año}$), pero mantiene igualmente una tendencia positiva.

El análisis gráfico empleado para visualizar estas variaciones es coherente con lo señalado por Barreda (2004), quien sostiene que las representaciones temporales permiten identificar posibles tendencias, aunque estas deben interpretarse con cautela y complementarse con métodos estadísticos. En este sentido, los gráficos muestran patrones ascendentes, pero, conforme a Barreda, el análisis formal debe realizarse en conjunto con las pruebas estadísticas aplicadas previamente.

El comportamiento observado en ambas estaciones coincide con lo documentado por Lale (2008), quien reportó incrementos en las temperaturas de Tingo María y destacó la utilidad del análisis de series temporales para identificar cambios en los parámetros térmicos. Asimismo, los resultados son coherentes con lo indicado por Espinoza (2011), quien describe que regiones de la selva alta peruana pueden presentar variaciones térmicas asociadas a su dinámica atmosférica local.

En conjunto, la tendencia ascendente en la temperatura mínima refleja un comportamiento consistente en ambas estaciones y corresponde a patrones previamente reportados en estudios de la región, aunque su interpretación definitiva debe ser sustentada por los métodos estadísticos aplicados, tal como recomienda Barreda (2004).

4.2.2.3. Variabilidad anual - temperatura máxima.

a) Ciudad de Tingo María.

La temperatura máxima media anual registrada en la estación de Tingo María durante el periodo 2003–2020 evidencia una tendencia creciente. El análisis muestra que, en promedio, la temperatura máxima se ha incrementado a un ritmo de 0.071 °C por año, lo que, acumulado en el periodo de estudio, representa un aumento significativo en el comportamiento térmico de la zona. (Figura 36).

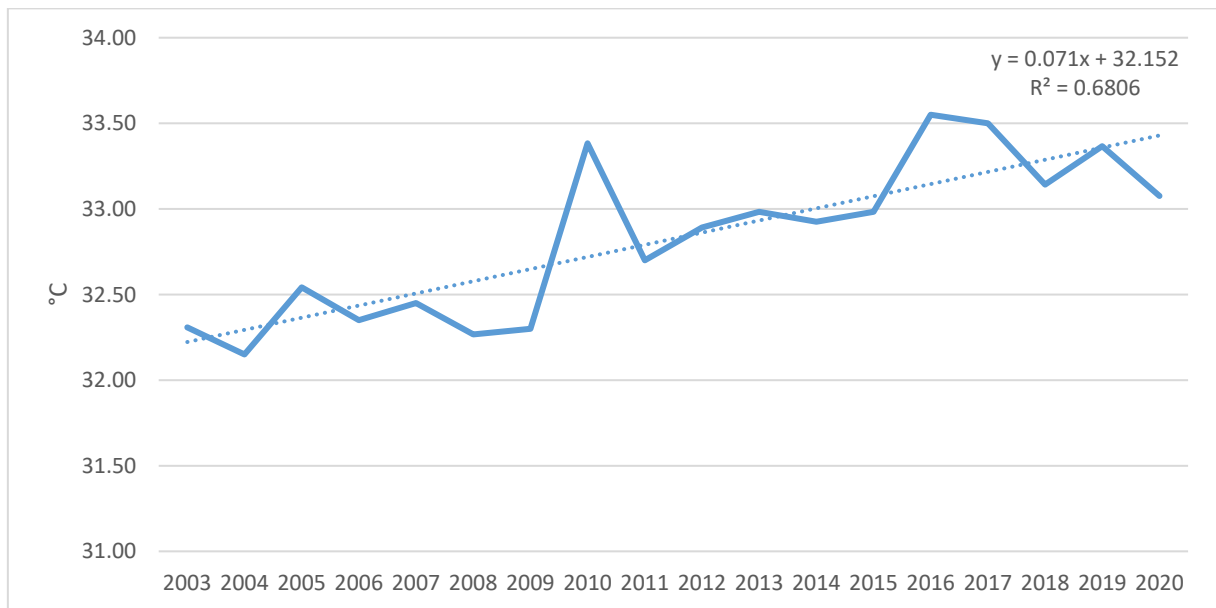


Figura 34. Variabilidad anual de la temperatura máxima del periodo 2003-2020, estación de Tingo María.

b) Ciudad de Tocache.

La temperatura máxima media anual correspondiente a la estación de Tananta, en el periodo 2003–2020, muestra una tendencia positiva. El análisis estadístico indica que, en promedio, este parámetro ha venido aumentando a un ritmo de 0.0423 °C por año, reflejando un incremento sostenido en el comportamiento térmico de la región. (Figura 37).

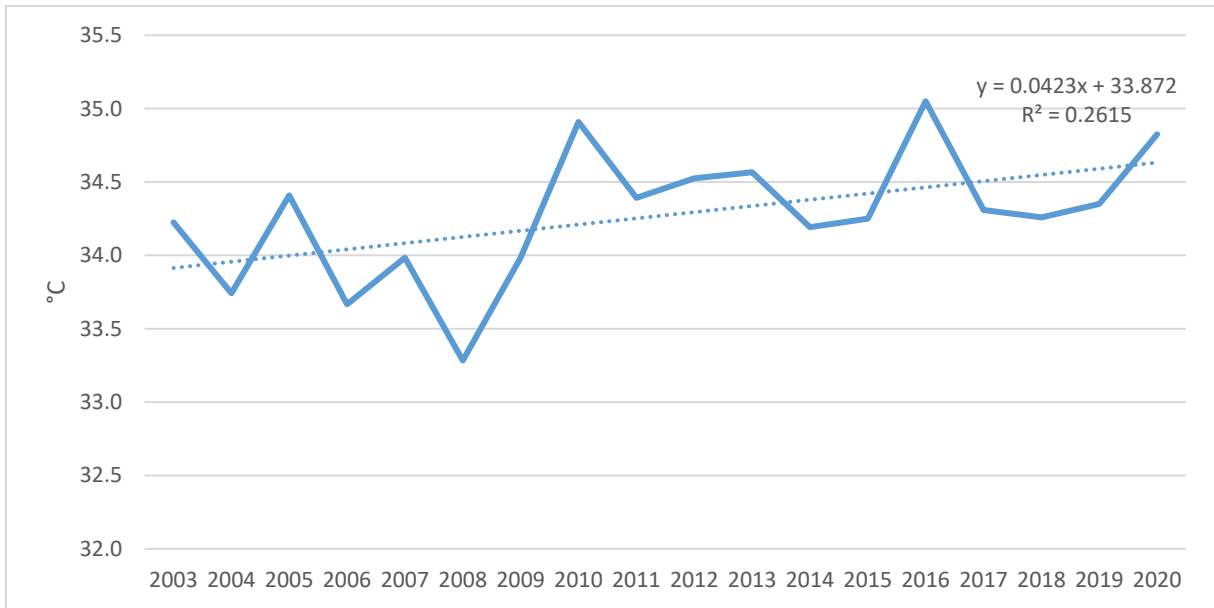


Figura 35. Variabilidad anual de la temperatura máxima del periodo 2003-2020, estación de Tananta.

La variabilidad anual de la temperatura máxima muestra también una tendencia ascendente en ambas estaciones. En Tingo María, el incremento anual es de 0.071 °C, mientras que en Tocache la pendiente es de 0.0423 °C/año. En ambos casos, los gráficos indican un aumento progresivo durante el periodo 2003–2020.

El uso de gráficos para evaluar este comportamiento se ajusta a lo indicado por Barreda (2004), quien señala que estas herramientas son valiosas para identificar visualmente posibles tendencias, siempre que posteriormente se contrasten con métodos estadísticos para confirmar su validez. Por ello, aunque las pendientes muestran aumentos constantes, su interpretación debe considerarse complementaria a las pruebas estadísticas como Mann-Kendall.

El incremento observado en Tingo María es coherente con los hallazgos de Lale (2008), quien reportó comportamientos ascendentes en la temperatura máxima para esta ciudad, identificando variaciones que pueden manifestarse de manera continua en los valores medios anuales. Asimismo, la tendencia positiva coincide con lo descrito por Espinoza (2011), quien menciona que las condiciones atmosféricas de la selva alta pueden generar variaciones en los parámetros térmicos que se reflejan en series anuales.

De este modo, la tendencia ascendente registrada en ambas estaciones se ajusta a lo reportado en la literatura regional. No obstante, siguiendo a Barreda (2004), la confirmación

de una tendencia requiere que los métodos estadísticos empleados coincidan, por lo que la interpretación gráfica debe considerarse complementaria y no definitoria.

4.2.2.4. Variabilidad anual de la precipitación

a) Ciudad de Tingo María

El análisis de la precipitación acumulada anual en la estación de Tingo María, durante el periodo 2003 – 2020, revela una tendencia ascendente, con incremento estimado de 14.996 mm por año. (Figura 38).

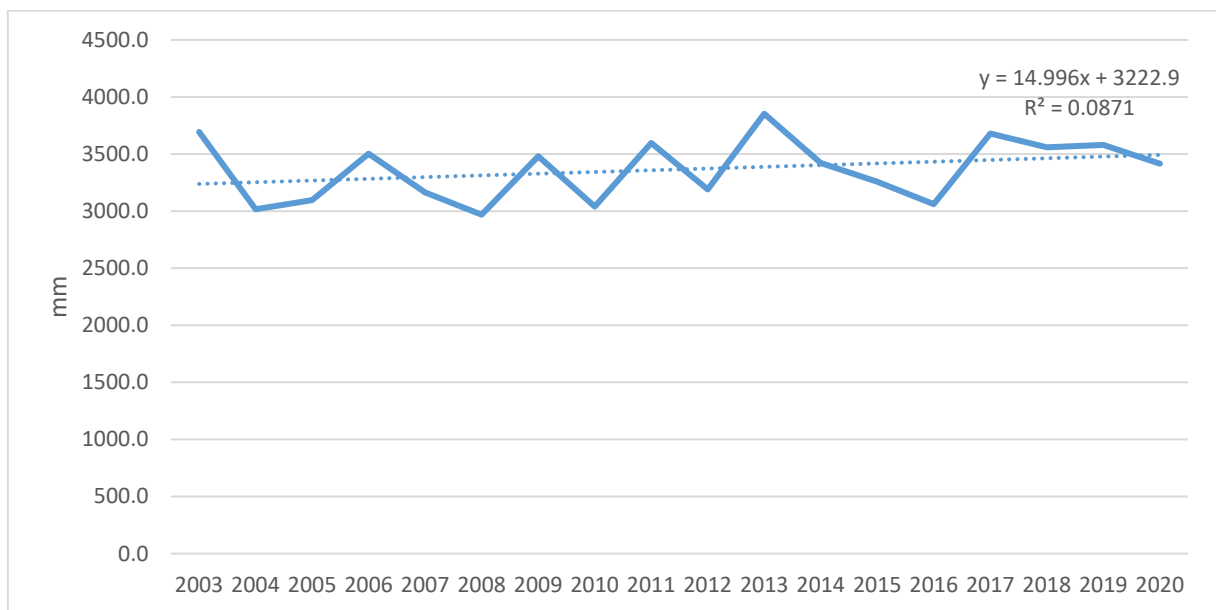


Figura 36. Variabilidad anual de la precipitación del periodo 2003-2020, estación de Tingo María.

b) Ciudad de Tocache

En la estación de Tananta, el análisis de la precipitación acumulada anual correspondiente al periodo 2003 – 2020 evidencia una tendencia positiva, con un aumento estimado de 5,2789 mm anuales (Figura 39).

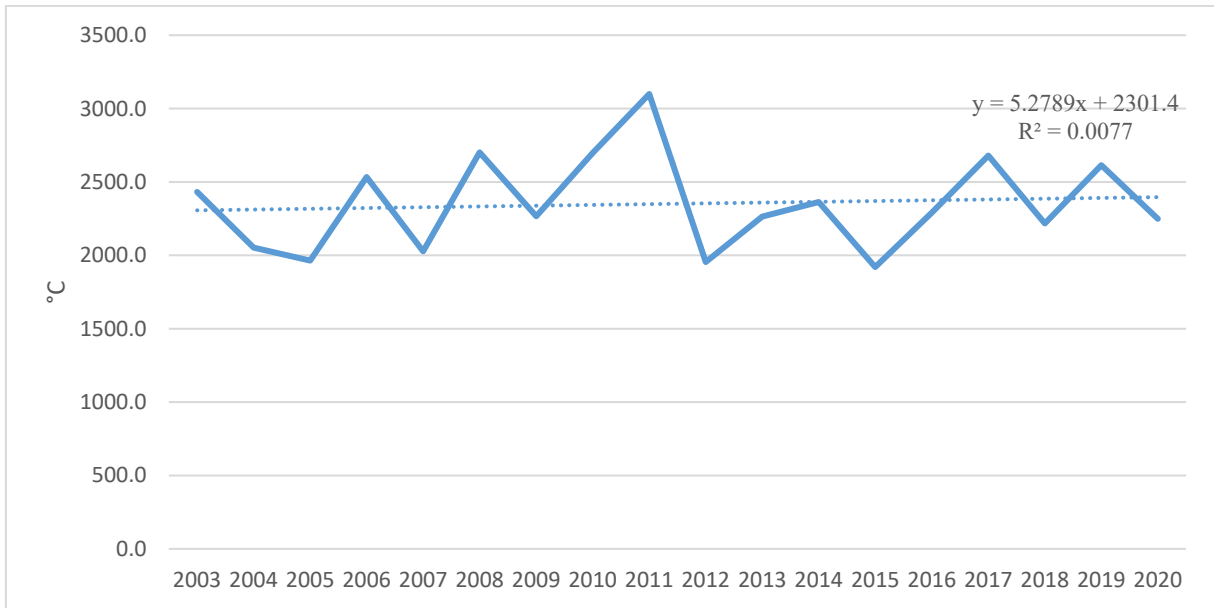


Figura 37. Variabilidad anual de la precipitación del periodo 2003-2020, estación de Tananta.

El análisis de la precipitación acumulada anual en las estaciones de Tingo María y Tananta durante el periodo 2003–2020 evidencia tendencias ascendentes, con incrementos estimados de 14,996 mm y 5,2789 mm por año, respectivamente.

Estos resultados sugieren que, a pesar de la presencia de valores atípicos y ciertas desviaciones de normalidad detectadas en las pruebas de Dixon, Grubbs y Shapiro-Wilk, las series presentan una consistencia suficiente para observar patrones de variabilidad interanual, tal como lo recomiendan Colotti et al. (2016) y Cruz (2010) para garantizar que los datos reflejen variaciones naturales del clima. La tendencia positiva en la precipitación podría relacionarse con las variaciones climáticas locales y factores ambientales, como la deforestación y los cambios en la cobertura vegetal, que afectan los ciclos hidrológicos y la disponibilidad de agua atmosférica, tal como señalan Burga (2024) y Mori (2022).

Aunque en algunas investigaciones previas, como las de Revilla-Chávez et al. (2021) y Domínguez (2014), no siempre se identifica una relación directa entre deforestación y precipitación, los incrementos observados en Tingo María y Tananta reflejan la importancia de considerar tanto la heterogeneidad espacial como las interacciones entre cobertura vegetal y variables meteorológicas, reforzando la necesidad de estudios temporales y locales para apoyar la gestión ambiental y la planificación territorial sostenible (Giudice y Guariguatta, 2023; Durand y Guerrero, 2023).

4.3. Determinación de la deforestación y su incidencia en la temperatura y precipitación en los distritos de Tingo María y Tocache

4.3.1. Influencia de la deforestación en la temperatura y precipitación

Se realizó la evaluación con los datos de hectáreas deforestadas acumuladas en el distrito de Rupa Rupa, obteniendo los resultados de correlación de Pearson y Sig (bilateral) (Tabla 19).

Tabla 18. Correlación de Pearson con datos de precipitación, temperatura mínima y máxima del distrito de Rupa Rupa.

	Descripción	Precipitación anual	T° Máxima	T° Mínima
DEFORESTACIÓN ACUMULADA (2003 – 2020)	Correlación de Pearson	0.280	0.837**	0.628**
	Sig. (bilateral)	0.261	0.000	0.005
	N	18	18	18

**La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

En Tingo María, los resultados evidencian que la deforestación acumulada presenta una relación estadísticamente significativa con el incremento tanto de la temperatura máxima ($r = 0.837$; $p < 0.01$) como de la temperatura mínima ($r = 0.628$; $p < 0.01$), lo que sugiere que la pérdida progresiva de cobertura forestal se vincula directamente con el aumento térmico en la zona. Este comportamiento coincide con lo documentado por Lale (2008), quien reportó incrementos en los parámetros térmicos de Tingo María a partir del análisis de series temporales, y se relaciona con lo señalado por Espinoza (2011), respecto a que la dinámica atmosférica propia de la selva alta puede favorecer variaciones en la temperatura. Por otro lado, la correlación no significativa entre deforestación y precipitación ($r = 0.280$; $p = 0.261$) es coherente con lo expuesto por Revilla-Chávez et al. (2021) y Burga (2024), quienes indican que las variaciones de precipitación no siempre responden directamente a la deforestación debido a la influencia de procesos atmosféricos regionales. Del mismo modo, el análisis realizado es consistente con la recomendación de Barreda (2004), quien señala que las tendencias observadas en gráficos deben confirmarse mediante pruebas estadísticas, como se ha realizado en este estudio.

También, se realizó la evaluación con los datos de hectáreas deforestadas acumuladas en el distrito de Tocache, obteniendo los resultados de correlación de Pearson y Sig (bilateral) (Tabla 20).

Tabla 19. Correlación de Pearson con datos de precipitación, temperatura mínima y máxima del distrito de Tocache.

	Descripción	Precipitación anual	T° Máxima	T° Mínima
DEFORESTACIÓN ACUMULADA (2003 – 2020)	Correlación de Pearson	0.088	0.521*	0.111
	Sig. (bilateral)	0.727	0.027	0.662
	N	18	18	18

*La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

En Tocache, los resultados muestran que la deforestación acumulada presenta una relación significativa únicamente con la temperatura máxima ($r = 0.521$; $p < 0.05$), mientras que no se observa asociación con la temperatura mínima ni con la precipitación.

Este patrón sugiere que los efectos térmicos de la pérdida de cobertura forestal son más evidentes en las temperaturas diurnas, lo que resulta coherente con lo señalado por Espinoza (2011), quien describe que las condiciones atmosféricas de la selva alta pueden generar variaciones térmicas diferenciadas.

La ausencia de correlación entre deforestación y precipitación ($r = 0.088$; $p = 0.727$) coincide con lo reportado por Revilla-Chávez et al. (2021) y Burga (2024), quienes señalan que la respuesta de la precipitación a la deforestación no siempre es directa y puede verse modulada por procesos atmosféricos de escala regional. Asimismo, el procedimiento seguido es consistente con Barreda (2004), al complementarse la interpretación gráfica con el análisis estadístico para validar los patrones observados.

Finalmente, el análisis comparativo entre Tingo María y Tocache evidencia que la deforestación ejerce una influencia diferenciada sobre los parámetros climáticos de ambas zonas. En Tingo María, la deforestación acumulada presenta una correlación significativa tanto con la temperatura máxima como con la mínima, lo que indica una relación más directa entre la pérdida de cobertura forestal y el incremento térmico. Esta situación es coherente con lo señalado por Lale (2008), quien reportó tendencias ascendentes de temperatura en la ciudad a partir del análisis de series temporales, y encuentra sustento en Espinoza (2011), quien explica que la dinámica atmosférica local de la selva alta puede intensificar las variaciones térmicas. En contraste, en Tocache los efectos térmicos se manifiestan de manera más limitada, observándose significancia únicamente en la temperatura máxima, lo cual sugiere una

sensibilidad térmica menor o un efecto más moderado de la deforestación, posiblemente asociado a diferencias en la dinámica atmosférica o en las características biofísicas del entorno, tal como plantea Espinoza (2011) para regiones de selva alta.

En ambos distritos, la precipitación no muestra relación estadísticamente significativa con la deforestación, lo que coincide con lo indicado por Revilla-Chávez et al. (2021) y Burga (2024), quienes señalan que la relación entre pérdida de bosque y variabilidad de la precipitación no siempre es directa, pues puede estar modulada por procesos atmosféricos regionales que atenúan los efectos locales. Asimismo, la interpretación realizada se ajusta a la recomendación metodológica de Barreda (2004), quien enfatiza que las tendencias visuales deben ser necesariamente contrastadas mediante pruebas estadísticas para garantizar su validez. En conjunto, los resultados muestran que la deforestación incide con mayor intensidad en las temperaturas de Tingo María que en las de Tocache, mientras que la precipitación en ambas localidades parece responder a factores climáticos de mayor escala.

V. CONCLUSIONES

1. La pérdida de bosque, desde el año 2003 al año 2023, en el distrito de Rupa Rupa viene decreciendo a razón de -6.8159 ha/año y en el distrito de Tocache viene decreciendo con una reducción promedio de -1.7767 ha/año.
2. Durante el periodo 2003–2020, los distritos de Rupa Rupa (estación Tingo María) y Tocache (estación Tananta) presentan tendencias ascendentes tanto en la temperatura mínima y máxima como en la precipitación anual. En Tingo María, la temperatura mínima y máxima aumentan a un ritmo de 0,0364 °C/año y 0,071 °C/año, respectivamente, mientras que la precipitación anual se incrementa en 14,996 mm/año. En Tocache, los incrementos son menores pero consistentes: 0,0043 °C/año para la temperatura mínima, 0,0423 °C/año para la temperatura máxima y 5,2789 mm/año en precipitación.
3. Los resultados evidencian que la deforestación influye de manera diferenciada sobre la temperatura. En Tingo María, la relación es fuerte y significativa tanto para la temperatura máxima ($r = 0.837$) como para la temperatura mínima ($r = 0.628$), indicando un claro efecto de la pérdida de cobertura forestal en el aumento térmico. En Tocache, el efecto es moderado y solo significativo en la temperatura máxima ($r = 0.521$), sin evidenciarse relación con la temperatura mínima. En ambos distritos, la precipitación no muestra asociación con la deforestación (Tingo María: $r = 0.280$; Tocache: $r = 0.088$), lo que sugiere que este parámetro responde principalmente a procesos atmosféricos de mayor escala. En conjunto, los resultados confirman que la deforestación contribuye al calentamiento local, aunque no presenta un efecto estadístico detectable sobre la precipitación durante 2003–2020.

VI. PROPUESTAS A FUTURO

1. Ampliar la cobertura espacial del análisis climático, incorporando información histórica de todas las estaciones del SENAMHI ubicadas en la región Huánuco, con el fin de fortalecer la comprensión regional de las variaciones de temperatura y precipitación y ofrecer a los gobiernos locales insumos más precisos para anticipar eventos climáticos extremos.
2. Extender las series temporales utilizadas e incorporar variables meteorológicas complementarias —como radiación solar, humedad relativa, velocidad y dirección del viento— que permitan desarrollar evaluaciones más integrales y robustas sobre la dinámica climática y sus posibles tendencias.
3. Desarrollar programas de comunicación y educación climática, orientados a la población y a las autoridades locales, para difundir de manera accesible los riesgos asociados a inundaciones, deslizamientos, incendios forestales y otros fenómenos, fortaleciendo la toma de decisiones preventivas.
4. Integrar análisis de cobertura y uso del suelo mediante imágenes satelitales de mayor resolución, con el objetivo de evaluar con mayor precisión la relación entre la deforestación, la variabilidad climática y los cambios en el microclima local.
5. Implementar sistemas de monitoreo continuo y alertas tempranas en zonas vulnerables de Rupa Rupa y Tocache, articulando información meteorológica, hidrológica y de cobertura vegetal, para mejorar la capacidad de respuesta ante eventos extremos.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Altamirano, A. & Lara, A. (2010). Deforestación en ecosistemas templados de la precordillera andina del centro-sur de Chile. *Bosque*, *31*(1), 53-64. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002010000100006>
- Banco Central de Reserva del Perú. (2015). *Informe económico y social Región Huánuco*. Encuentro Económico.
- Barreda, A. (2004). *Técnicas de completado de series mensuales y aplicación al estudio de la influencia de la oscilación del Atlántico Norte en la distribución de la precipitación en España* [Tesis doctoral, Universidad de Barcelona]. Repositorio institucional.
- Barreiro, M., Bidegain, M. & Díaz, A. (2009). *Análisis estadístico de datos climáticos*. Montevideo, Uruguay.
- Bastidas, L. B. (2020). *Propuesta metodológica para completar series de tiempo de precipitación y temperatura en estaciones hidrometeorológicas*. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 11(5), 147–178.
- Brown, O., Gallardo, Y. & Correa, A. (2015). El cambio climático y sus evidencias en las precipitaciones. *Revista de Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, *36*(1), 45-56.
- Burga, Y. L. (2024). *Cambio climático al 2050 por efecto de la deforestación en la cuenca del río Monzón* [Tesis de grado, Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú / Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio SENAMHI / UNAS.
- Chuvieco, E. (1996). *Fundamentos de teledetección espacial* (2a ed.). Ediciones RIALP.
- Colotti, E., Rodriguez, J. & Blanco, A. (2005). *Propuesta metodológica para el análisis de la consistencia de los datos climáticos*. <http://hoeger.com.ve/ama/pdf/taller-cambiosclimaticos-02.pdf>
- Criado, M. A. (2018, 22 de febrero). La deforestación aumenta el impacto de la radiación solar en la superficie terrestre. *El País*. https://elpais.com/elpais/2018/02/22/ciencia/1519277366_574125.html
- Cruz, O. (2010). *Análisis histórico sobre tendencias de clima en el Estado de Guerrero: Homogeneidad de los datos de clima*. México DF, México.
- Dixon, W. J. (2016). Simplified statistics for small numbers of observations. *Analytical Chemistry*, *88*(1), 207-210. http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/ac195123636_13353.pdf

- Domínguez Varas, J. C. (2014). *Evaluación de la influencia de la precipitación y temperatura en el crecimiento de Pinus patula y Pinus muricata en plantaciones de la Granja Porcón (Perú) a través de técnicas dendrocronológicas* (Tesis de Ingeniería Forestal). Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Durand Capcha, Y. S., & Guerrero Alarcón, K. E. (2024). *Influencia de la variación de precipitación y temperatura sobre la dinámica de la cobertura vegetal en la subcuenca Quisquichaca durante el periodo 1986-2018, Canta – Perú* [Tesis de licenciatura, Universidad Peruana Unión]. Alicia – CONCYTEC. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUPN_787906e8956948a95fcfa35daff09e4
- Espinoza, E. (2011). *Análisis de tendencias climáticas en la región de la cuenca del Río Sajhuaya*. Instituto de Hidráulica e Hidrología.
- GCF-TF/PNUD Huanuco. (2020). *Concertando el desarrollo rural bajo en emisiones: Diseño participativo de una estrategia y plan de inversiones para promover el desarrollo rural bajo en emisiones y reducir la deforestación en la Región Huánuco - Análisis de cuellos de botella de la producción regional*. Informe final.
- Geobosque. (2020). *Bosque y pérdida de bosque de los departamentos de Huánuco y San Martín*. Ministerio del Ambiente del Perú. <http://geobosques.minam.gob.pe/geobosque/view/perdida.php>
- Giudice, R., Guariguatta, M. 2023. Las iniciativas de conservación de bosques en el Perú. Un análisis retrospectivo de su efectividad y una mirada al futuro. Centro para la Investigación Forestal Internacional (CIFOR). 44 p
- González, M. E., Lara, A. & Urrutia, R. (2011). Cambio climático y su impacto potencial en la ocurrencia de incendios forestales en la zona centro-sur de Chile (33°-42°S). *Bosque*, *32*(3), 215-219.
- Guenanni, L., Edgard, D. & Alvarado, K. (2008). Análisis de la tendencia de la estacionalidad de la precipitación mensual en Venezuela. *Revista Colombiana de Estadística*, *31*(1), 89-113.
- Heredia, H., Naranjo, M. & Suárez, B. (2011). El cambio climático y los determinantes sociales de la salud desde la perspectiva de la equidad. *Revista Cubana de Salud Pública*, *37*(3), 256-268.
- IPCC. (2007). *Cambio climático 2007: Informe de síntesis*. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.
- Lale, M. (2008). *Tendencias de la temperatura, precipitación y humedad relativa en Tingo María para el periodo 1940–2007* [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria de la Selva].

- Lalente, M. (2009). *Medición de deforestación e índice de vegetación de diferencia normalizada, mediante percepción remota en la microcuenca Río Supte* [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio institucional.
- Layza, R., Gonzales, F., & Terán, 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. Recuperado de <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/PGM/article/view/2072>
- Martínez Torres, P. F. (2021). *La deforestación en relación con la variación de temperatura y precipitación en el distrito Rupa-Rupa, provincia de Leoncio Prado, periodo 2001-2016* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Institucional UNAS. <https://repositorio.unas.edu.pe/items/bc312cfc-7cb2-48cd-9d37-32f587cf0869>
- Meza, L. 2021. *La Regulación del Cambio Climático Referida a Los Incendios Forestales Y la Pérdida De La Biodiversidad en el Perú*. Universidad Científica del Sur. Lima – Perú. 52 p.
- MINAGRI. (2015). *Reglamento para la gestión forestal* (D.S. N° 018-2015-MINAGRI). Compendio forestal.
- MINAM-Bosques. (2020). *Protocolo metodológico para la detección de la pérdida de bosque*.
- Monjardín-Armenta, S. A., Pacheco, C. & Plata-Rocha, W. (2017). *La deforestación y sus factores causales en el estado de Sinaloa, México*. *Madera y Bosques*, *23*(3), 1-17.
- Mori, C. (2022). *Relación de la deforestación con las variaciones de temperatura y precipitación en el distrito de Nueva Requena, región Ucayali – 2019* [Tesis de maestría, Universidad Nacional Hermilio Valdizán].
- Moschella, P. (2023). *Pérdida de bosques amazónicos por expansión urbana en el Perú*. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima – Perú. 17 p.
- Octavio, M. & Renné, M. (2013). *Sinergia entre cambio climático y megaproyectos o procesos expropiativos*. *T'inkazos*, (34), 53-72.
- OMM. (1994). *Guía de prácticas hidrológicas: Adquisición y proceso de datos, análisis, predicción y otras aplicaciones* (5a ed.). Organización Meteorológica Mundial.
- Palacios, J., Zárate-Gómez, R., Minaya, R., Martín, M., Benavides, J. 2019. *Predicción de la pérdida de la cobertura vegetal por aumento de áreas urbanas en Iquitos, Perú*. Universidad Científica del Perú. 14 p.
- PNCBMCC. (2021). *Cobertura y pérdida de bosque húmedo amazónico*. Programa Nacional de Conservación de Bosques para la Mitigación del Cambio Climático.

- Prevedello, J. A., Winck, G. R., Weber, M. M., Nichols, E. & Sinervo, B. (2019). Impacts of forestation and deforestation on local temperature across the globe. *PLOS ONE*, *14*(3), e0213368. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0213368>
- Quispe, J., Lizarraga, M., Madueño, R., Tairo, R., Alegre, R., Suca, E. (2023), Efecto del Cambio Climático y la Cobertura Forestal en la Pérdida de Bosques en la Selva Amazónica de Perú, 2003-2019. *Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinarias*. Centro de Estudios Transdisciplinarios. *Revista Alfa*. Bolivia. [en línea]: (<http://portal.amelica.org/ameli/journal/540/5404020007/html/>, 17 de enero del 2024).
- Revilla-Chávez, J. M., García-Soria, D. G., Pinedo-Ramírez, R. A., Casas-Reátegui, R., López-Galán, E. E., & Abanto-Rodríguez, C. (2021). Efecto de los factores climáticos en las fases fenológicas de *Mauritia flexuosa* Lf. en plantaciones de terraza baja en Ucayali, Perú. *Scientia Agropecuaria*, 12(2), 213-218. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.024>
- Rodríguez, M., Benito, A. & Portela, A. (2004). *Meteorología y climatología*. Semana de la Ciencia y la Tecnología.
- Rullán, C. (2015). *Aplicación de la teledetección satelital en el seguimiento de la defoliación por insectos forestales* [Tesis doctoral, Universidad de Valladolid]. Repositorio institucional.
- Saldaña, V. (2019). *Análisis de los cambios de cobertura y uso del suelo con imágenes satelitales del distrito de Chancay años 2001 y 2018* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Cajamarca].
- Salinas, W. & Treviño, E. (2002). Impacto de la deforestación en el microclima de la subcuenca río Corona, Tamaulipas. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, (48), 18-35.
- Sánchez, C. (2016). Evolución del concepto de cambio climático y su impacto en la salud pública del Perú. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, *33*(1), 141-145.
- SENAMHI. (2010). *Escenarios de cambio climático en la cuenca del Río Mantaro para el año 2100*. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú.
- Shapiro, S. S. & Wilk, M. B. (1965). An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, *52*(3-4), 591-611. <https://doi.org/10.1093/biomet/52.3-4.591>
- Valdez, E. (2014). *Análisis de la pérdida de suelos por erosión hídrica en la subcuenca Conduriri mediante la metodología Rusle, 1980–2014* [Tesis de grado, Universidad Nacional del Altiplano].

- Vásquez, J. (2010). *Guía para el cálculo de índices de cambio climático*. Instituto Nacional de Ecología.
- Velázquez, F. (2005). *25 preguntas sobre el cambio climático: Conceptos básicos del efecto invernadero y del cambio climático*. Ediciones Libertarias.
- Wilks, D (2011). *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences* (3rd ed.). Academic Press. Universidad de Oxford.
https://www.sciencedirect.com/book/9780128158234/statistical-methods-in-the-atmospheric-sciences?utm_source=chatgpt.com#book-info.
- Zúñiga, L. & Crespo, E. (2010). *Meteorología y climatología*. UNED.
- Zuur, A. F., Ieno, E. N., & Smith, G. M. (2007). *Analysing Ecological Data*. Springer.

ANEXOS

Anexo 1. Promedios mensuales de precipitación, temperatura mínima y máxima de la estación de Tingo María, periodo 2003-2020.

Temperatura mínima

AÑO/MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ANUAL
2003	19.40	19.10	18.40	18.50	17.60	17.10	16.40	18.20	17.20	19.40	19.00	19.10	18.28
2004	19.00	17.90	19.90	19.30	17.70	17.60	18.40	17.20	16.80	19.20	19.30	19.60	18.49
2005	18.10	19.80	20.00	19.70	19.40	18.60	16.60	17.80	18.10	17.50	18.50	18.10	18.52
2006	19.50	18.70	18.60	18.60	17.70	17.60	16.50	18.00	17.90	19.20	18.40	19.50	18.35
2007	19.10	18.80	18.80	17.70	18.40	18.50	16.40	17.50	16.60	18.20	18.50	18.50	18.08
2008	19.50	18.20	18.80	18.50	18.60	17.50	17.10	19.00	18.00	17.20	19.50	19.50	18.45
2009	19.50	19.20	19.80	18.60	18.20	17.30	18.30	18.30	19.00	18.70	18.80	19.70	18.78
2010	19.50	19.40	20.00	19.50	19.00	19.10	17.30	17.40	16.50	18.10	17.20	18.10	18.43
2011	18.40	17.70	18.80	16.50	19.20	18.20	17.50	17.60	17.80	19.30	19.50	17.60	18.18
2012	19.40	17.60	19.00	19.80	19.20	18.50	15.20	17.60	15.60	17.60	20.00	19.20	18.23
2013	18.80	18.60	19.00	18.70	19.50	19.30	17.00	17.70	18.40	19.00	18.90	19.40	18.69
2014	17.80	19.70	19.70	19.60	20.00	18.60	17.90	16.60	18.80	18.20	18.60	19.80	18.78
2015	20.10	19.20	19.60	19.40	18.40	18.60	19.10	18.30	18.10	18.20	20.40	20.00	19.12
2016	20.60	19.40	19.10	18.00	19.20	18.60	18.00	17.10	17.90	15.20	19.20	18.50	18.40
2017	18.50	19.80	19.00	19.60	19.40	19.30	17.60	18.10	19.20	18.40	19.50	19.50	18.99
2018	19.10	20.00	19.40	19.20	19.40	17.50	18.00	17.50	17.60	20.20	19.00	20.40	18.94
2019	19.90	20.00	20.00	19.40	18.50	18.50	18.60	17.40	18.40	18.50	19.00	19.40	18.97
2020	20.0	20.2	19.0	18.86	18.79	18.26	17.41	17.72	17.76	18.36	19.02	19.17	18.71

Temperatura máxima

AÑO/MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ANUAL
2003	33.20	31.90	32.30	31.80	32.00	31.40	31.20	31.80	33.00	33.40	33.40	32.30	32.31
2004	33.90	32.50	32.90	32.50	31.80	30.30	30.10	31.10	32.00	33.40	32.40	32.90	32.15
2005	33.80	33.00	31.80	33.20	32.20	31.70	31.30	32.60	32.60	32.60	33.10	32.60	32.54
2006	32.30	32.20	32.70	32.60	32.30	31.00	31.70	32.70	33.20	33.00	32.50	32.00	32.35
2007	32.50	33.00	32.50	32.40	32.00	31.50	31.50	32.10	33.80	32.70	32.60	32.80	32.45
2008	32.30	32.10	32.30	32.00	31.70	31.00	31.10	32.50	33.00	32.60	33.60	33.00	32.27
2009	32.70	31.80	32.50	32.20	31.60	30.80	31.60	32.30	33.30	34.30	33.00	31.50	32.30
2010	32.60	33.70	34.60	33.90	33.20	32.40	31.60	33.70	34.30	34.30	34.30	32.00	33.38
2011	33.00	32.00	31.60	32.60	32.70	31.70	32.00	33.00	33.30	32.60	34.40	33.50	32.70
2012	32.70	32.00	33.20	32.70	32.30	31.80	32.70	32.50	34.30	34.00	34.00	32.50	32.89
2013	34.00	33.00	32.50	33.00	33.00	32.00	31.50	32.80	33.90	32.80	33.30	34.00	32.98
2014	32.00	33.60	32.70	32.40	32.20	32.00	31.50	33.50	34.00	34.00	33.80	33.40	32.93
2015	32.70	32.10	31.90	33.30	31.80	32.00	32.00	32.90	34.30	34.50	33.80	34.50	32.98
2016	35.30	33.20	34.00	33.20	32.20	31.40	32.40	32.90	35.70	34.00	34.60	33.70	33.55
2017	33.30	34.00	33.50	33.90	33.30	32.20	32.80	33.40	33.70	34.30	33.60	34.00	33.50
2018	34.10	33.50	33.40	32.40	32.00	31.50	32.70	33.00	34.30	33.80	33.50	33.50	33.14
2019	33.70	33.00	33.30	33.40	33.10	32.50	32.00	33.00	35.50	33.60	34.00	33.30	33.37
2020	34.00	33.50	34.40	32.79	32.32	31.60	31.75	32.69	33.78	33.52	33.52	33.03	33.08

Precipitación

AÑO/MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ANUAL
2003	239.6	460.8	343.9	306.8	345.2	228.7	100.2	249.7	216.9	272.4	330.9	598.1	3693.2
2004	301.1	298.9	427.4	176.8	141.8	83.4	236.0	71.1	193.9	293.3	469.3	323.4	3016.4
2005	245.1	314.8	549.4	267.2	149.0	187.7	55.8	82.9	204.2	259.2	209.0	571.5	3095.8
2006	284.8	528.9	389.9	274.1	99.7	122.5	70.4	117.4	166.8	391.7	485.8	571.2	3503.2
2007	526.8	257.2	460.7	298.8	187.3	12.4	169.6	95.2	118.5	267.5	277.3	492.7	3164.0
2008	428.8	534.6	300.6	196.6	120.3	106.2	224.4	55.2	164.8	335.0	138.8	363.7	2969.0
2009	481.2	400.2	302.4	282.9	337.2	164.7	164.6	150.0	190.2	134.9	366.0	506.5	3480.8
2010	301.9	592.2	366.0	262.4	192.2	107.0	127.9	55.2	94.9	180.1	463.2	297.0	3040.0
2011	458.1	542.9	558.6	379.7	197.6	132.7	111.3	66.2	280.0	171.6	376.9	320.8	3596.4
2012	376.5	446.5	464.1	356.3	82.0	151.7	52.8	37.5	92.7	384.1	298.6	447.6	3190.4
2013	438.2	474.5	405.8	426.7	203.8	172.3	101.6	249.3	193.9	495.4	270.5	421.0	3853.0
2014	350.7	289.3	399.2	206.6	219.8	195.4	50.1	48.2	256.7	500.0	418.1	487.0	3421.1
2015	511.4	537.6	310.1	304.8	298.2	127.9	208.6	37.6	123.1	152.1	238.1	408.5	3258.0
2016	517.0	406.6	392.3	159.2	217.2	171.0	111.2	64.5	113.3	162.1	333.2	413.8	3061.4
2017	385.1	467.7	427.7	205.0	282.2	154.8	25.8	143.5	219.4	319.7	675.4	373.2	3679.5
2018	388.2	317.5	483.3	226.3	179.9	188.8	62.3	205.0	79.3	483.1	513.2	432.0	3558.9
2019	602.6	159.9	494.2	212.2	203.6	152.8	227.6	64.7	127.0	311.6	357.0	667.2	3580.4
2020	494.7	373.9	416.2	267.2	203.4	144.7	123.5	105.5	166.8	300.8	366.0	452.7	3415.4

Anexo 2. Promedios mensuales de precipitación, temperatura mínima y máxima de la estación de Tananta, periodo 2003-2020.

Temperatura mínima

AÑO/MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ANUAL
2003	20.0	20.5	20.0	19.5	19.0	19.5	16.0	17.0	17.5	19.5	20.0	21.0	19.1
2004	21.0	19.0	20.0	20.0	19.0	17.5	18.0	15.5	17.5	19.0	20.5	20.0	18.9
2005	20.5	20.0	21.0	20.5	19.5	18.5	14.6	15.4	18.0	19.4	20.0	19.8	18.9
2006	20.6	19.5	20.5	19.0	17.0	17.5	16.0	18.0	18.0	20.5	19.5	20.1	18.9
2007	21.0	20.5	20.0	19.5	19.0	19.5	17.5	17.5	17.5	18.5	20.0	20.5	19.3
2008	19.5	20.0	20.0	19.5	18.0	18.5	18.0	20.0	19.5	20.0	19.5	20.2	19.4
2009	19.8	20.0	20.3	20.0	20.0	17.5	18.0	18.2	18.5	19.0	20.0	21.5	19.4
2010	20.6	20.0	21.5	21.0	20.0	19.5	18.0	17.5	18.0	19.0	18.8	20.2	19.5
2011	20.5	18.8	20.5	17.0	20.0	19.5	17.5	17.0	18.5	19.0	20.0	19.0	18.9
2012	19.8	19.5	20.0	19.5	19.0	17.5	15.5	17.5	18.0	20.0	19.0	21.0	18.9
2013	20.5	20.5	20.8	19.2	20.5	19.5	17.5	17.5	17.0	20.8	19.0	20.0	19.4
2014	20.0	21.0	20.5	20.5	20.0	18.6	17.3	17.5	17.0	18.5	19.5	20.5	19.2
2015	20.0	20.5	20.3	20.5	20.0	18.8	19.0	19.0	19.5	20.0	20.7	19.5	19.8
2016	20.5	21.0	20.4	18.8	19.5	16.8	17.4	17.3	18.8	16.4	20.0	20.0	18.9
2017	19.6	20.5	20.2	19.8	20.0	18.2	17.2	18.0	18.6	19.2	19.9	20.0	19.3
2018	19.9	20.0	19.8	20.0	19.2	16.5	17.0	17.6	17.6	20.0	19.8	20.7	19.0
2019	19.9	20.8	19.9	18.6	19.6	16.8	17.8	16.0	17.6	19.5	20.2	20.6	18.9
2020	20.0	20.0	20.4	19.6	19.4	18.2	18.8	17.2	17.8	17.8	19.4	20.6	19.1

Temperatura máxima

AÑO/MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ANUAL
2003	35.0	35.0	35.0	33.0	33.0	32.5	32.2	34.0	34.6	35.8	35.8	34.8	34.2
2004	35.0	33.8	34.5	34.0	33.8	31.8	32.6	32.8	33.2	34.2	35.0	34.2	33.7
2005	36.0	34.0	33.4	34.0	34.2	32.5	33.0	36.0	35.6	34.3	35.5	34.4	34.4
2006	34.0	33.4	33.3	33.6	33.2	32.4	33.5	33.8	34.8	34.4	34.4	33.2	33.7
2007	34.4	35.2	34.4	33.2	33.8	32.8	33.2	33.8	34.7	34.5	34.0	33.8	34.0
2008	33.2	33.2	32.4	33.8	32.8	32.2	32.4	33.8	33.8	34.2	34.6	33.0	33.3
2009	32.4	33.0	34.0	33.3	33.4	32.4	33.2	34.6	36.0	36.2	35.3	34.0	34.0
2010	34.8	35.2	35.6	34.2	34.0	34.0	33.6	35.0	36.1	36.8	35.2	34.4	34.9
2011	35.2	33.0	32.4	34.1	34.0	34.0	33.5	34.8	35.4	34.8	36.2	35.3	34.4
2012	34.2	33.4	34.0	35.0	34.0	33.6	33.8	35.2	36.6	35.4	35.5	33.6	34.5
2013	35.3	33.8	34.4	34.0	34.0	33.4	34.2	34.4	35.6	35.2	35.3	35.2	34.6
2014	34.6	33.9	33.6	33.6	34.0	34.1	33.2	33.4	35.5	35.0	34.4	35.0	34.2
2015	33.6	34.4	34.0	33.8	33.0	33.0	33.0	34.2	35.8	35.8	34.8	35.6	34.3
2016	37.6	34.2	35.2	35.0	33.4	33.0	34.2	35.2	36.4	35.6	36.4	34.4	35.1
2017	34.4	35.0	33.5	34.6	33.4	33.0	33.4	34.5	34.4	35.5	35.0	35.0	34.3
2018	35.0	34.6	34.6	33.8	33.7	32.6	33.2	33.8	36.0	34.8	34.8	34.2	34.3
2019	34.2	34.0	33.7	34.2	34.0	33.8	33.2	35.2	36.9	34.2	35.2	33.6	34.4
2020	35.2	35.0	34.2	34.0	33.6	33.3	34.2	35.2	35.4	36.3	36.5	35.0	34.8

Precipitación

AÑO/MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ANUAL
2003	270.6	234.1	316.7	136.5	159.2	152.5	106.7	64.9	217.3	149.2	329.7	295.2	2432.6
2004	194.2	284.4	121.0	107.4	80.3	95.5	141.1	94.8	78.7	231.2	260.3	363.4	2052.3
2005	169.4	269.0	218.1	144.2	30.9	280.1	31.8	24.7	73.2	255.7	181.9	285.0	1964.0
2006	328.7	233.1	185.7	126.4	102.0	174.0	54.7	61.1	117.1	189.6	479.4	482.2	2534.0
2007	124.3	175.8	294.2	142.7	197.8	64.9	70.6	129.4	20.8	245.3	251.0	311.2	2028.0
2008	379.2	368.2	341.6	176.6	133.9	113.4	55.1	81.4	204.2	311.2	266.8	269.9	2701.5
2009	309.0	465.7	310.6	213.4	188.5	67.9	46.4	53.8	91.1	136.8	175.9	207.6	2266.7
2010	220.2	453.5	270.5	249.1	371.4	63.2	224.5	48.1	106.2	273.8	256.2	161.3	2698.0
2011	363.0	978.0	186.1	113.9	306.6	151.5	128.4	37.8	45.8	228.2	141.5	418.5	3099.3
2012	271.1	430.4	115.6	114.0	71.9	31.8	63.7	60.3	175.8	231.2	198.3	190.4	1954.5
2013	201.1	331.1	210.2	280.8	123.6	74.7	61.9	161.8	141.9	202.7	331.1	143.3	2264.2
2014	240.3	278.6	304.6	104.6	203.5	92.1	90.5	65.6	173.4	282.6	328.9	198.6	2363.3
2015	288.4	165.1	263.0	144.4	139.1	97.6	78.9	123.3	76.4	137.3	184.1	222.4	1920.0
2016	337.0	190.0	226.4	184.0	153.6	61.8	37.7	104.5	125.7	370.9	173.8	325.0	2290.4
2017	354.9	403.3	285.6	124.5	212.3	40.5	59.9	147.8	177.2	183.6	374.2	315.8	2679.6
2018	234.7	304.8	226.7	126.1	84.8	141.7	60.5	111.4	50.0	336.1	337.6	202.8	2217.2
2019	382.0	256.4	293.3	137.1	147.6	102.0	136.2	16.5	73.3	311.3	347.7	410.4	2613.8
2020	345.3	291.2	245.3	154.5	159.2	106.2	168.4	11.9	163.4	84.9	67.2	451.1	2248.6

Anexo 3. Datos otorgados por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología – SENAMHI de la estación de Tingo María y Tocache, periodo 2003-2020.