



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA INGENIERIA AMBIENTAL

Análisis de la variabilidad temporal de precipitación y temperatura en la microcuenca del
río Maguazo

Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniero Ambiental

Autor:

Cherrez Puente, Bryan Xavier

Tutor:

Dr. Ríos García, Iván Alfredo.

Riobamba, Ecuador. 2025

DECLARATORIA DE AUTORÍA

Yo, Bryan Xavier Cherrez Puente, con cédula de ciudadanía 0604239830, autor del trabajo de investigación titulado: Análisis de la variabilidad temporal de precipitación y temperatura en la microcuenca del río Maguazo, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mí exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor (a) de la obra referida, será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, 27 de mayo del 2025.



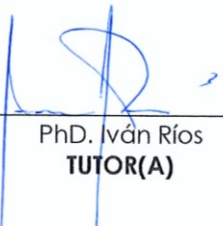
Bryan Xavier Cherrez Puente

C.I: 0604239830



ACTA FAVORABLE - INFORME FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

En la Ciudad de Riobamba, a los 7 días del mes de mayo de 2025, luego de haber revisado el Informe Final del Trabajo de Investigación presentado por el estudiante **BRYAN XAVIER CHERREZ PUENTE** con CC: **0604239830**, de la carrera **INGENIERIA AMBIENTAL** y dando cumplimiento a los criterios metodológicos exigidos, se emite el **ACTA FAVORABLE DEL INFORME FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN** titulado **"Análisis de la variabilidad temporal de precipitación y temperatura en la microcuenca del río Maguazo"**, por lo tanto, se autoriza la presentación del mismo para los trámites pertinentes.


PhD. Iván Ríos
TUTOR(A)

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación: Análisis de la variabilidad temporal de precipitación y temperatura en la microcuenca del río Maguazo, presentado por Bryan Xavier Cherrez Puente, con cédula de identidad número 0604239830, bajo la tutoría de PhD. Iván Ríos García; certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba a los 27 días del mes de mayo del 2025.

Dra. Mery Manzano Cepeda
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO



Ing. María Fernanda Rivera MgS.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Ing. Patricio Santillán Lima MgS.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO





Dirección
Académica
VICERRECTORADO ACADÉMICO



CERTIFICACIÓN

Que, **CHERREZ PUENTE BRYAN XAVIER** con CC: **0604239830**, estudiante de la Carrera de **Ingeniería Ambiental**, Facultad de Ingeniería; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado **“Análisis de la Variabilidad Temporal de Precipitación y Temperatura en la microcuenca del río Maguazo”**, cumple con el **6 %**, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **COMPILATIO**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente, autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 20 de mayo de 2025



Firmado electrónicamente por:
IVÁN ALFREDO RÍOS
GARCÍA

Validar únicamente con PímaSC

PhD. Iván Ríos

TUTOR TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

DEDICATORIA

Este proyecto a todas las personas que han sido parte fundamental en mi camino hacia la culminación de este proyecto.

Quiero agradecer a todos los docentes que formaron parte de mi formación académica, cuyo conocimiento y orientación me han guiado a lo largo de mi vida como estudiante. Su apoyo incondicional, paciencia y sabiduría han sido fundamentales para el desarrollo de esta investigación.

A mis amigos y seres queridos, gracias por su constante apoyo emocional y comprensión. Han sido una red de apoyo durante los momentos de desafío y me han brindado la motivación necesaria para seguir adelante. A mi familia, les agradezco por su amor, comprensión y sacrificio. Han sido mi pilar inquebrantable, brindándome el soporte necesario para enfrentar las dificultades y alcanzar nuestras metas. Espero que esta tesis sea un pequeño aporte al conocimiento en nuestro campo de estudio y que inspire a futuros investigadores a explorar nuevas fronteras.

AGRADECIMIENTO

Me gustaría expresar mi más sincera gratitud a mi tutor de tesis, por su guía y apoyo constante a lo largo de este proceso. Su conocimiento, orientación y dedicación han sido fundamental para el desarrollo y éxito de este trabajo. Sus comentarios y sugerencias me han ayudado a mejorar mi investigación.

Agradecer también a mis profesores, por impartirme sus conocimientos y brindarnos una educación de calidad. Su pasión por la enseñanza y su compromiso han dejado una huella en nuestro desarrollo como profesionales.

Agradezco a la Universidad Nacional de Chimborazo, por proporcionarnos los recursos y oportunidades necesarios para llevar a cabo esta investigación. Un agradecimiento especial a mi familia y seres queridos, quienes han estado a mi lado durante todo este proceso. Su amor, paciencia y comprensión me han dado la fuerza y la motivación necesarias para superar los desafíos y perseverar en la consecución de mis objetivos.

ÍNDICE GENERAL

DECLARATORIA DE AUTORÍA

ACTA FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

CERTIFICADO ANTIPLAGIO

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

RESUMEN

ABSTRACT

CAPÍTULO I. INTRODUCCION.....	15
1.1 Planteamiento del Problema	16
1.2 Justificación	18
1.3 Objetivos.....	20
1.3.1 Objetivo General	20
1.3.2 Objetivos Específicos	20
CAPÍTULO II MARCO TEORICO	21
2.1 Cambio climático	21
2.2 Meteorología	21
2.3 Estación Meteorología.....	21
2.4 Proceso Hidrológico	21
2.5 Caracterización Climática.....	22
2.6 Variabilidad Climática.....	22
2.7 Patrones Climáticos.....	22
2.8 Series Temporales	23
2.9 Vector Regional	23

CAPÍTULO III. METODOLOGIA	24
3.1 Tipo de investigación	24
3.2 Diseño de investigación.....	24
3.3 Descripción y localización de la zona de estudio.....	25
3.4 Fase 1: Organización de la información.....	25
3.4.1 Selección de las estaciones meteorológicas	25
3.4.2 Obtención de información de plataformas climáticas	26
3.5 Fase 2: Análisis de correlación de series temporales	26
3.5.1 Análisis exploratorio de datos	26
3.5.2 Evaluación de datos faltantes	28
3.5.3 Relleno de datos faltantes	28
3.5.4 Correlación de datos	28
3.5.5 Análisis confirmatorio	29
3.6 Fase 3: Análisis de la variabilidad de precipitación y temperatura en tres subperiodos de 10 años desde 1990-2020	30
3.6.1 Cambio en la media	31
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	32
4.1 Descripción del área de estudio.....	32
4.1.1 Parámetros morfométricos de la microcuenca	33
4.1.2 Características físicas de la microcuenca.....	34
4.2 Selección de información de precipitación y temperatura.....	36
4.2.1 Agrupación de información de las estaciones meteorológicas.....	36
4.2.2 Selección de estaciones meteorológicas	37
4.2.3 Obtención de información de las plataformas climáticas	38
4.3 Análisis exploratorio de datos.....	39
4.3.1 Estadísticos descriptivos de precipitación.....	39
4.3.2 Estadístico descriptivo de temperatura	45

4.4	Análisis de la precipitación.....	47
4.4.1	Método de vector regional (MVR)	47
4.4.2	Vector regional mensual de la microcuenca del río Maguazo	51
4.5	Validación de datos	53
4.6	Análisis de homogeneidad y estacionariedad	55
4.6.1	Cambio en la media	55
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES		67
5.1	CONCLUSIONES	67
5.2	RECOMENDACIONES.....	68
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		69
ANEXOS.....		71

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1. Estaciones Meteorológicas.....	25
Tabla 2. Parámetros estadísticos.....	26
Tabla 3. Parámetros morfométricos de la microcuenca del río Maguazo	33
Tabla 4. Características físicas de la microcuenca.....	36
Tabla 5. Distancia de las estaciones meteorológicas.....	37
Tabla 6. Análisis estadístico descriptivo de datos de precipitación de la estación de Alao.....	41
Tabla 7. Análisis estadístico descriptivo de precipitación de la plataforma Chirps.....	42
Tabla 8. Análisis estadístico descriptivo de precipitación de la plataforma TerraClimate.....	43
Tabla 9. Análisis descriptivo de temperatura de la plataforma TerraClimate	46
Tabla 10. Correlación anual del vector y las plataformas satelitales	47
Tabla 11. Correlación mensual de enero a abril.....	48
Tabla 12. Correlación mensual de mayo a agosto.....	49
Tabla 13. Correlación mensual de septiembre a diciembre	49
Tabla 14. Correlación anual del vector y de las estaciones de los datos rellenados.....	51
Tabla 15. Índice de correlación del primer grupo mensual	51
Tabla 16. Índice de correlación del segundo mensual.....	52
Tabla 17. Índice de correlación del tercer mensual.....	52
Tabla 18. Correlación Pearson de los datos mensuales de precipitación	53
Tabla 19. Resultados de la evaluación estadística del conjunto de datos	54
Tabla 20. Prueba de Mann Kendall para 1990 al 2020	56
Tabla 21. Tendencia de Mann Kendall para 1990 al 2000	58
Tabla 22. Tendencia de Mann Kendall para 2000 al 2010	59
Tabla 23. Tendencia de Mann Kendall para 2010 al 2020	60
Tabla 24. Análisis de tasa de cambio de precipitación del periodo del 1990 al 2020	61
Tabla 25. Tendencia de Mann Kendall para 1990 al 2020	63
Tabla 26. Tendencia de Mann Kendall para 2000 al 2010	64
Tabla 27. Tendencia de Mann Kendall para 2010 al 2020	64
Tabla 28. Análisis de tasa de cambio de temperatura de 1990 al 2020.....	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación política de la microcuenca del río Maguazo	32
Figura 2. Mapa de ubicación geográfica de la microcuenca del río Maguazo	32
Figura 3. Curva hipsométrica de la microcuenca del río Maguazo.....	34
Figura 4. Mapa de cobertura geológica de la microcuenca del río Maguazo	34
Figura 5. Mapa de cobertura y uso de suelo de la microcuenca del río Maguazo.	35
Figura 6. Mapa de textura del suelo de la microcuenca del río Maguazo	35
Figura 7. Estaciones meteorológicas disponibles en la microcuenca.....	37
Figura 8. Disponibilidad de información pluviométrica de las diferentes estaciones	38
Figura 9. Mapa de ubicación de las plataformas satelitales	39
Figura 10. Diagrama de caja de los datos de precipitación de 1990 al 2020.....	44
Figura 11. Índices anuales del vector regional de la microcuenca Maguazo de 1990 al 2020	48
Figura 12. Serie de datos de precipitación de 1990 al 2020	50
Figura 13. Índices anuales de vector y las estaciones de 1990 al 2020.....	50
Figura 14. Dispersión de la precipitación de la plataforma Chirps.....	54
Figura 15. Dispersión de la precipitación de la plataforma TerraClimate.....	54
Figura 16. Serie temporal de los 3 subperiodos de la estación Maguazo	55
Figura 17. Serie temporal del mes de mayo de 1990 al 2020.....	56
Figura 18. Serie temporal del mes de junio de 1990 al 2020	56
Figura 19. Serie temporal anual de la tendencia de Mann Kendal	57
Figura 20. Tasa de cambio de precipitación del mes de junio.....	58
Figura 21. Tasa de cambio de precipitación del mes de agosto.....	58
Figura 22. Serie temporal mensual de la tendencia de Mann Kendal durante 1990 al 2020.....	59
Figura 23. Tasa de cambio de precipitación mes de octubre.....	60
Figura 24. Serie temporal tendencia de Mann Kendall del mes de octubre de 2000 al 2010.....	60
Figura 25. Tasa de cambio de precipitación del mes de septiembre	61
Figura 26. Serie temporal tendencia de Mann Kendal del mes de septiembre de 2010 al 2020.....	61
Figura 27. Serie temporal tendencia de Mann Kendal mensual de 1990 al 2000.....	63
Figura 28. Serie temporal tendencia de Mann Kendal mensual de 1990 al 2020.....	64
Figura 29. Serie temporal tendencia de Mann Kendal mensual de 2010 al 2020.....	65

RESUMEN

El “Análisis de la variabilidad temporal de precipitación y temperatura en la microcuenca del río Maguazo” aborda la preocupación global sobre la variabilidad climática y sus impactos en la vida humana y los ecosistemas. El propósito fundamental de este estudio fue examinar la variabilidad en el tiempo de la precipitación y la temperatura en la microcuenca del río Maguazo. Para lograrlo, se recopilaron datos climáticos a lo largo de un período determinado y se aplicaron métodos estadísticos para analizar las tendencias y patrones climáticos en la zona de estudio. La investigación se basó en el análisis de datos recopilados de precipitación y temperatura en la microcuenca del río Maguazo.

Se utilizaron series temporales y se evaluó el coeficiente de correlación entre los datos de precipitación y temperatura, así como la correlación entre ambas variables. Además, se realizó una caracterización climática y se estudiaron los patrones climáticos en la zona. Los resultados obtenidos proporcionan información valiosa sobre la variabilidad temporal en la microcuenca del río Maguazo. Estos hallazgos contribuyen a la comprensión de los cambios climáticos locales y sus posibles implicaciones en el ciclo hidrológico de la región.

Revelaron patrones significativos de variabilidad temporal en la microcuenca del río Maguazo. Estas variaciones pueden tener implicaciones importantes en el contexto ambiental y socioeconómico de la región.

Palabras claves: variabilidad temporal, precipitación, temperatura, microcuenca, análisis, tendencias, patrones climáticos.

ABSTRACT

The "Analysis of Temporal Variability of Precipitation and Temperature in the Maguazo River Microbasin" addresses the global concern about climate variability and its impacts on human life and ecosystems. The primary purpose of this study was to examine the variability in the epoch of precipitation and temperature in the Maguazo River micro basin. To achieve this, climatic data were collected over a given period, and statistical methods were applied to analyze climatic trends and patterns in the study area. The research was based on analyzing precipitation and temperature data collected in the Maguazo River micro basin. Time series were used, the correlation coefficient between rainfall and temperature data was evaluated, and the correlation between both variables. In addition, a climatic characterization was carried out, and the climatic patterns in the area were studied. The results obtained provide valuable information on the temporal variability in the Maguazo River micro basin. These findings contribute to the understanding of local climatic changes and their possible implications on the region's hydrological cycle. They revealed significant patterns of temporal variability in the Maguazo River micro basin. These variations have essential implications in the region's environmental and socioeconomic context.

Keywords: temporal variability, precipitation, temperature, microbasin, analysis, trends, climatic patterns.



Reviewed by:

Ms.C. Ana Maldonado León

ENGLISH PROFESSOR

C.I.0601975980

CAPÍTULO I. INTRODUCCION

La variabilidad climática es una preocupación global debido a sus impactos en diferentes aspectos de la vida humana y los ecosistemas. La comprensión de la variabilidad temporal de la precipitación y la temperatura es fundamental para entender los cambios climáticos y sus consecuencias en diferentes regiones. En particular, el análisis de la variabilidad en una microcuenca proporciona una visión detallada de los patrones climáticos locales y su posible influencia en el ciclo hidrológico (Chiles, 2020).

Ecuador está dotado de una serie de cuencas hidrográficas y fuentes de reserva de agua; sin embargo, la gestión, distribución y sobreexplotación inapropiadas han llevado al deterioro del recurso, lo que supone graves riesgos ambientales, sociales y económicos, además de limitar el valor de muchas actividades. La microcuenca Maguazo en la parroquia de Pungalá en el cantón de Riobamba tiene varias funciones importantes, de las cuales el río Maguazo es la principal, ya que sirve como la fuente de abastecimiento de agua primaria, atendiendo a las áreas urbanas y rurales de Riobamba (Rodríguez, 2019).

Uno de los principales efectos del cambio climático en la Microcuenca de Maguazo es la baja presión del agua que es causada por varios factores. La variabilidad climática, manifestada en sequías y lluvias torrenciales, impacta la cantidad y calidad del agua en una microcuenca. Adicionalmente, la presión del agua puede verse reducida debido al mantenimiento deficiente de las infraestructuras de suministro, tales como tuberías y válvulas. Por último, la sobreexplotación de los recursos hídricos, como el uso excesivo de pozos y acuíferos, puede agotar las fuentes de agua, disminuyendo así la presión disponible. La contaminación, como la presencia de químicos y residuos, también puede tener efectos negativos (Játiva Varela, 2018).

Una microcuenca es una unidad de estudio geográfica que abarca un área pequeña, generalmente definida por los límites de un río o arroyo y su red de afluentes. Dado su tamaño reducido, las microcuencas son especialmente sensibles a las variaciones climáticas, lo que las convierte en lugares ideales para investigar la variabilidad temporal de la precipitación y la temperatura.

Una Inadecuada gestión del agua puede provocar una distribución desigual de los recursos hídricos. Por lo cual es fundamental comprender el comportamiento climático de una región específica porque nos permite identificar patrones y tendencias climáticas a lo

largo del tiempo, siendo útil para las decisiones que se toman en la gestión de los recursos hídricos y la planificación urbana (Cajamarca, 2022).

Las microcuencas son especialmente vulnerables a los cambios climáticos, ya que cualquier alteración en la precipitación puede tener un impacto significativo en el ciclo hidrológico y en la cantidad de agua para sus principales usos como la agricultura, la generación de energía hidroeléctrica y el suministro de agua potable por lo que se debe examinar las tendencias a lo largo del tiempo, la variabilidad estacional, y la relación entre estos dos factores climáticos (Nuñez Gonzales, 2018).

El estudio realizará un análisis estadístico que busque encontrar alguna relación entre la temperatura y la precipitación de la microcuenca. Se buscará relación utilizando correlación, análisis de tendencias y modelos de regresión, evaluando si existen relaciones significativas entre estas variables climáticas. Este tipo de análisis permite conocer mejor los posibles mecanismos que generan la variabilidad temporal en la microcuenca (Maenza, 2016).

Tener datos confiables para analizar la distribución temporal nos permite obtener resultados precisos útiles para formular estrategias en la gestión de los recursos hídricos. Podremos identificar problemas y tendencias como la escasez de agua, la contaminación y la erosión del suelo en la microcuenca. Evaluaremos los efectos de las actividades humanas como la agricultura, la minería y la urbanización en la calidad del agua.

Estos datos se pueden utilizar para desarrollar modelos que permitan predecir la disponibilidad de agua en la micro cuenca, En muchas ocasiones, la información disponible sobre la precipitación y temperatura es limitada o incompleta, lo que dificulta el análisis y la interpretación de los resultados obtenidos (Arone Espinoza, 2016).

Los hallazgos de este estudio informarán decisiones sobre la gestión del agua y la planificación de recursos a nivel de subcuenca pertinente. Además, contribuirán a la comprensión de la variabilidad climática local y tendrán implicaciones más amplias para entender el cambio climático regional.

1.1 Planteamiento del Problema

La variabilidad temporal de la precipitación y la temperatura en una microcuenca presenta considerables desafíos e impactos tanto desde una perspectiva ambiental como social. No obstante, a pesar de su relevancia, aún existe una brecha científica en la

comprensión de cómo se manifiesta la variabilidad dentro de estas microcuencas específicas y cuáles son los factores causales (Pradilla Villamizar, 2016).

El agua, como recurso de gran importancia para los seres humanos y como uno de los pilares importantes para un progreso sostenible, no está exenta de problemas respecto a su uso, como la gestión de cuencas hidrográficas preservadas. La temperatura y precipitación tiene un efecto relevante sobre la biodiversidad, la calidad del agua, la agricultura y demás componentes del entorno. Del mismo modo, el estudio minucioso de los cambios en la precipitación y temperatura en una microcuenca es fundamental para la comprensión de los procesos hidrológicos, los fenómenos patrioclimáticos y el funcionamiento del ecosistema (Julia and Elba, 2020).

La variabilidad espacial y temporal, donde la precipitación y la temperatura pueden variar significativamente dentro de una microcuenca en función de la ubicación y el tiempo, es necesario considerar estos factores para obtener una imagen precisa de la distribución que puede ayudar a entender cómo los factores climáticos afectan la disponibilidad de agua, el uso de la tierra, el cambio climático y la protección del medio ambiente en la microcuenca (Pacheco Niveló, 2014).

La ausencia superficial del agua en las microcuencas de la Provincia de Chimborazo puede representar un problema significativo, más aún en las épocas secas. Este fenómeno tiene diversas causas, uno de los problemas en este caso más importante es el cambio climático, afectando las lluvias y nevadas de la zona. La tala de bosques, entre otros problemas, degrada la calidad del terreno y su habilidad para almacenar agua. De igual manera, el mal uso de la tierra por medio de la agricultura de sofisticación o el avance urbano, deteriora tanto el volumen como la calidad del agua en las microcuencas (Cabrera, 2018).

La presión ejercida por las comunidades locales sobre los recursos naturales ha provocado una degradación alarmante en las microcuencas de los ríos Maguazo y Alao. Son frecuentes actividades como la tala de bosques nativos y el sobrepastoreo en el páramo, mientras que en las zonas de producción no se fomentan prácticas ambientales. Este panorama permite presumir una disminución del caudal de agua, especialmente en épocas de sequía. El mal uso y la contaminación del recurso hídrico producen afectaciones humanas, vegetales y animales, alterando al mismo tiempo la economía de las comunidades cercanas (Gualli, 2022).

Este aspecto demanda que se indague y analice la variabilidad climática de la microcuenca, con el propósito de encontrar los ciclos de cambio dentro de la precipitación y

temperatura en un período de tiempo; así mismo, establecer los posibles causales o mecanismos que afectan dicha variabilidad, en especial el impacto de los patrones meteorológicos regionales, o las relaciones de la microcuenca con su espacio geográfico (Rabuffetti, 2018).

Resolver este problema es fundamental para la gestión eficiente de los recursos hídricos en la microcuenca, así como para estimar las posibles consecuencias del cambio climático para esta área particular. Identificar patrones de variabilidad, junto con las razones subyacentes, puede ayudar enormemente en la planificación fomentada relacionada con la gestión de recursos hídricos, la respuesta a desastres y las estrategias de adaptación al cambio climático, especialmente durante los procesos de toma de decisiones.

1.2 Justificación

El seguimiento y análisis de la microcuenca del Rio Maguazo ofrece información relevante para la gestión hídrica. La lluvia, mediante su acumulación y distribución periódica, cobra vital importancia para los arroyos y ríos que constituyen la microcuenca. La magnitud, junto con la variabilidad del calentamiento térmico, e incidir conjuntamente sobre los recursos hídricos, el mantener y la vida acuática impactan en la calidad de agua. El monitoreo sobre arriesgos naturales donde la precipitación juega un rol preponderante en la aparición de fenómenos como deslizamientos, inundaciones y otros desastres que impactaría a una región ubicada dentro de una microcuenca (Aumassanne, 2019).

Analizar estas variables climáticas dentro de una microcuenca puede proporcionar información sobre cómo está cambiando el clima local y cómo podría impactar a la población así como a la vegetación natural en el área. Se puede proporcionar datos de precipitación y temperatura útiles para investigaciones futuras en diversas áreas, como, por ejemplo, en la Hidrología y recursos hídricos donde un correcto monitoreo puede arrojar información valiosa sobre el ciclo hidrológico local y la disponibilidad de agua en la región (García, 2018).

Estos datos meteorológicos pueden ser utilizados para modelar la cantidad de agua que fluye a través de la microcuenca, y para estimar la cantidad disponible para diversos usos, como el consumo humano, la agricultura, la industria, entre otros. En relación con la ecología y la conservación, la información recopilada durante el estudio puede ayudar a profundizar en la comprensión respecto a la interacción del clima, la hidrología y la biodiversidad en el área. Los datos sobre precipitaciones, temperatura y humedad del aire se

pueden utilizar para modelar la distribución y el comportamiento de la fauna y la flora, así como para evaluar los impactos de las variaciones en el clima y el uso del suelo en la biodiversidad local (Mendoza and Watson, 2018).

En la planificación y desarrollo de actividades y obras de infraestructura dentro de la microcuenca, la variabilidad climática tiene el potencial de causar efectos relevantes. Variaciones en la temperatura y en las precipitaciones pueden afectar la productividad agrícola, la salud de los ecosistemas, la calidad del suelo, la sostenibilidad de los proyectos de desarrollo a largo plazo y mucho más. El análisis de la variabilidad climática en sus dimensiones temporales y los ciclos de las microcuencas permitirá contar con información útil y pertinente para llevar a cabo una planificación óptima en la microcuenca (González Delgado, González Delgado and Gonzalez Delgado, 2020).

El análisis de una microcuenca puede tener diversas ventajas sociales como la mejora en la calidad de vida donde la información obtenida durante el estudio puede ser utilizada para incrementar el acceso a agua potable. La prevención de la salud pública donde se puede contribuir facilitando información sobre la calidad del agua y la frecuencia de enfermedades influenciadas por la temperatura. Impulso de la sostenibilidad donde la información podrá ser utilizada para el diseño, planificación y promoción del desarrollo sustentable de recursos naturales, ecoturismo y otras actividades económicas que sean compatibles con la conservación de la biodiversidad y el medio ambiente. La organización comunitaria en la gestión de los recursos naturales y el ejercicio del poder decisional (Vásquez Farfán, 2021).

Estudiar el cambio a lo largo del tiempo en los patrones de precipitación, junto con analizar la precipitación y la temperatura, será significativo para entender la ciencia del clima y la hidrología. Además, los resultados pueden ser utilizados para diseñar nuevas investigaciones y desarrollar estudios con el objetivo de entender los factores que impulsan la variabilidad climática en regiones del mismo tipo. Además, estos hallazgos pueden ser compartidos en publicaciones científicas y presentaciones en conferencias, lo que contribuirá al avance de la ciencia y al intercambio de conocimientos a nivel nacional e internacional (Araya and Cascamonte, 2015).

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Analizar la variabilidad temporal de precipitación y temperatura en la microcuenca del río Maguazo desde el periodo de 1990 al 2020

1.3.2 Objetivos Específicos

- Evaluar la información de precipitación y temperatura de las estaciones meteorológicas y las imágenes satelitales para la microcuenca del río Maguazo.
- Correlacionar las series temporales de precipitación y temperatura obtenidas en las estaciones meteorológicas y las imágenes satelitales.
- Analizar la variabilidad de precipitación y temperatura en tres subperiodos comprendidos de 10 años.

CAPÍTULO II MARCO TEORICO

2.1 Cambio climático

El cambio climático se refiere a la alteración de los patrones climáticos que se mantiene durante un tiempo extenso, generalmente durante décadas o siglos. Estas variaciones pueden ser el resultado de procesos naturales internos, así como de factores externos, como las fluctuaciones en los ciclos solares, las erupciones volcánicas o las actividades humanas que provocan cambios permanentes en la composición atmosférica (IPCC, 2021).

2.2 Meteorología

La meteorología se centra en estudiar las condiciones del tiempo con precisión en un lugar y momento determinados, así como también estudiar los cambios de alguno de los elementos climáticos como la temperatura, la lluvia y la humedad. Entender estos aspectos resulta de gran importancia, ya que permite evaluar el clima que se presencia en ese momento y anticiparse a futuros fenómenos meteorológicos (González, 2021).

2.3 Estación Meteorología

Las estaciones meteorológicas son dispositivos de gran relevancia para investigar y analizar las condiciones del servicio meteorológico. Poseen instrumentos que permiten medir temperaturas, humedad, presión, velocidad y dirección del viento, así como la cantidad de lluvia que caiga. Esta información es muy importante para emitir un pronóstico del tiempo y conocer el clima que se presenta en un lugar determinado (González, 2021).

2.4 Proceso Hidrológico

Un proceso hidrológico se puede definir como cualquier proceso que involucre el movimiento, distribución, calidad o cantidad de agua en la superficie de la tierra. Incluye fenómenos como precipitación, evaporación, infiltración, escorrentía, transpiración, percolación y recarga de acuíferos subterráneos. La ciencia que se ocupa en el estudio de los procesos hidrológicos en la hidrología junto con el movimiento de los procesos de la hidrología en relación con el medio natural es el medio ambiente. Los procesos hidrológicos cubren aspectos muy relevantes, ya que el agua es un recurso vital y un recurso importante para muchos fenómenos naturales tales como el clima y los ciclos biogeoquímicos. Los

procesos hidrológicos, también ejercen a su vez una gran influencia sobre la calidad, la erosión del suelo, y los desastres naturales como inundaciones y sequías (Cabrera, 2012).

2.5 Caracterización Climática

La característica climática consiste en describir o analizar el clima en base a acotados períodos de tiempo en una región o lugar en específico utilizando datos y estadísticas climáticas. Esto implica la recopilación de datos tales como: temperatura, precipitación, humedad, velocidad de viento, presión barométrica, etc. Es imprescindible realizar una evaluación de la vulnerabilidad porque puede ayudar a identificar las áreas que son más susceptibles a los impactos climáticos y ayudar a tomar medidas para reducir los riesgos. (Carbone, Píccolo and Perillo, 2003).

2.6 Variabilidad Climática

La variabilidad climática describe las fluctuaciones naturales del clima que ocurren en un lugar específico a lo largo del tiempo. Estas fluctuaciones pueden ser de corto plazo o de largo plazo. Es una característica normal del clima y puede ser causada por varios factores, como las variaciones en la radiación solar, los patrones de viento, la presión atmosférica, la temperatura del océano, la actividad volcánica, entre otros. El cambio climático se define como una alteración a largo plazo en el clima, provocada por la influencia del ser humano en el sistema climático, mientras que la variabilidad climática es una fluctuación natural del clima que puede tener un impacto significativo en la vida humana y en los ecosistemas, especialmente cuando se vuelven más extremos o impredecibles (Suarez, 2018).

2.7 Patrones Climáticos

Patrones y tendencias climáticas a lo largo de períodos de tiempo enfatizan como el patrón o variación del clima dentro de una región concreta durante un largo periodo de tiempo. Este conjunto de patrones se puede observar después de estudiar los datos meteorológicos, tanto filtrados manualmente como por estaciones automáticas, satélites o a través de otras vías. Resulta posible caracterizar el clima de una región a partir de datos climáticos para estimar, qué cambios se observan en el territorio y para anticiparse a las consecuencias nocivas que el cambio climático puede tener para las personas, los sistemas biológicos, la actividad económica y la sociedad (Ramírez and Vallejo, 2018).

2.8 Series Temporales

Se hace uso de las series de tiempo en una gran cantidad de disciplinas, desde la economía, pasando por las finanzas, la biología y hasta la ingeniería. El comportamiento de cada uno de los fenómenos en torno a su tiempo tiende a presentar tendencia, estacionalidad, periodicidad e incluso aleatoriedad. El análisis de series temporales se encarga de estudiar patrones y tendencias dentro de los datos para bien modelarlos y calcular su posible valor en el tiempo. Esto requiere implementar modelos matemáticos y estadísticos que analicen la evolución temporal de la serie y proporcionen pronósticos (Gallego Gómez, 2008).

2.9 Vector Regional

Es un conjunto de variables o factores que tienen una influencia significativa en un área geográfica determinada. En relación con la planificación espacial del uso del suelo y la gestión de recursos naturales, un vector regional puede referirse a las características físicas, biológicas, sociales o económicas que caracterizan una región e influyen en las decisiones de desarrollo o gestión de los recursos naturales en esa área. Estos pueden incluir topografía, clima, biodiversidad, población, economía, cultura e historia (Romero & Casimiro, 2015).

CAPÍTULO III. METODOLOGIA

3.1 Tipo de investigación

Investigación descriptiva

Este trabajo de investigación es un estudio descriptivo ya que se plantea analizar los datos de precipitación y temperatura disponibles en plataformas meteorológicas y climáticas. El objetivo principal del estudio es realizar un seguimiento y análisis de la variabilidad climática en la microcuenca del río Maguazo. Tal como se propuso, se llevará a cabo la identificación de los índices de precipitación y las temperaturas durante 1990-2020 utilizando herramientas analíticas y métodos estadísticos. Con esta sistematización de la información será posible entender los fenómenos climáticos que impactan la microcuenca, y ayuda en la planificación de las estrategias de manejo y conservación de los recursos hídricos a nivel de cuenca.

3.2 Diseño de investigación

Diseño longitudinal

El esquema de esta investigación se ha realizado de forma longitudinal, puesto que requiere el registro de semejantes datos en un extenso periodo de tiempo proponiendo así que la precipitación y temperatura en la microcuenca del río Maguazo se medirán en tres periodos de diez años cada uno. Con los datos recolectados, se obtiene una adecuada descripción de los microclimas de la microcuenca. Igualmente, de esta manera, este diseño longitudinal facilita el seguimiento de variaciones que se producen a través del tiempo en el clima de la microcuenca del río Alao.

Diseño correlacional

La relación y el diseño correlacional facilitó el análisis de la relación entre las variables climáticas, tales como la precipitación y la temperatura en la microcuenca del río Alao. Detectando correlaciones entre estas variables se podrá en el futuro probablemente establecer predictores del clima en esta región. Esto es importante porque se podrían elaborar modelos climatológicos y entender de qué forma los cambios, a nivel de temperatura, local influyen en los patrones históricos de precipitación.

3.3 Descripción y localización de la zona de estudio

El estudio se realizó en la microcuenca del río Maguazo, en la parroquia de Pungalá del cantón Riobamba, al noreste de Chimborazo. La macro y micro descripción, así como la localización del área de interés fue realizada a través del análisis de la información existente y de mapas de temas que contengan datos sobre: topografía, hidrografía y otras características espaciales pertinentes al estudio. Para establecer los límites correspondientes a la microcuenca del río Alao y sus principales características de drenaje, se aplicó el modelo digital de elevación junto con datos cartográficos. Además, se estudiaron las características morfométricas de la microcuenca utilizando ArcGIS 10.8. Este análisis proporcionó información sobre el impacto del clima en la forma del relieve y las características del sistema de drenaje de la microcuenca.

3.4 Fase 1: Organización de la información

Para una administración responsable de los recursos hídricos, resulta primordial que la información tenga un orden sistemático, puesto que solo de esta forma se logra comprensión cabal y exacta de la hidrología y medioambiente del área de estudio.

3.4.1 Selección de las estaciones meteorológicas

Para seleccionar las estaciones meteorológicas, se consideraron criterios como la distancia, la ubicación y la disponibilidad de datos sobre precipitación y temperatura durante el período de estudio.

Tabla 1. Estaciones Meteorológicas

Estación	Código	Altitud (msnm)	X	Y
Alao	M0396	3200	779982,2	9791632,1
Cebadas	M0395	2930	762446,1	9788952,5
Guamote	M0134	2856	763041,00	9792124,0

Los registros mensuales de las estaciones meteorológicas del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) nos proporcionaron los datos de precipitación y temperatura disponibles en el periodo de 1990 a 2013.

3.4.2 Obtención de información de plataformas climáticas

Se utilizó herramientas GIS para delimitar la microcuenca del río Maguazo, con el objetivo de acotar el conjunto de datos de precipitación y temperatura en esa área. Luego, se importó el archivo de la microcuenca a la plataforma Google Earth Engine, desde la cual se extrajeron datos de precipitación y temperatura de las fuentes TerraClimate, Chirps, proporcionando registros continuos de las variables climáticas analizadas desde 1990 hasta 2020.

Esta información se organizó en hojas de cálculo (Excel), lo cual fue necesario para realizar los análisis estadísticos descriptivos y exploratorios de manera adecuada. Además, se ajustó a la estructura requerida por los programas informáticos utilizados para llevar a cabo pruebas estadísticas confirmatorias, análisis de tendencias y evaluación de hipótesis.

3.5 Fase 2: Análisis de correlación de series temporales

3.5.1 Análisis exploratorio de datos

Para análisis exploratorio se dividirá en el estadístico descriptivo, análisis gráfico, estimación de datos faltantes y análisis confirmatorio.

Estadísticos descriptivos

Se sugieren parámetros estadísticos para definir la forma y distribución de los datos de temperatura y precipitación que se detallan a continuación.

Tabla 2. *Parámetros estadísticos*

Estadístico	Descripción	Fórmula
Media	El parámetro se refiere al valor que se espera de la variable en sí misma. Es el primer momento respecto al origen y proporciona información sobre la tendencia central de la distribución	$\bar{Z} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Z_i \quad (1)$ Donde: n es el total de los datos de la muestra; zi corresponde a cada uno de los datos de la muestra y $\bar{z}$ es la media de la muestra.
Varianza	Con este parámetro se midió la dispersión y variabilidad de los datos.	$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (Z_i - \bar{Z})^2 \quad (2)$ Donde:

	Representa el segundo momento respecto a la media y brindó información acerca de la amplitud de la distribución.	S^2 la varianza muestral; n es el total de los datos de la muestra; z_i corresponde a cada uno de los datos de la muestra; y $\bar{z}$ es la media de la muestra.
Desviación estándar	La desviación estándar es el resultado de calcular la raíz cuadrada de la varianza. Por lo tanto, es una herramienta que permitió medir la variabilidad o dispersión que comparte un conjunto de datos con la media de los datos	$De = \sqrt{S^2} \quad (3)$ Donde: De, es la desviación estándar de la muestra de datos y S^2 es la varianza muestral.
Coefficiente de variación	Este coeficiente muestra el grado de variabilidad de los datos en relación con la media de la muestra, usado para entender la dispersión relativa de los datos y permitió comparaciones más precisas entre diferentes conjuntos de datos.	$Cv = \frac{De}{\bar{z}} \quad (4)$ Donde: De, es la desviación estándar y $\bar{z}$ es la media de la muestra
Coefficiente de sesgo	También conocido como coeficiente de asimetría, indica el grado de asimetría, esto permitió identificar si estos datos se distribuyen simétrica o no alrededor de la media o si se encuentran inclinadas hacia un lado, lo que proporcionó información sobre la tendencia y dispersión del conjunto de datos.	

Nota. Fuente: (De La Puente, 2018)

Para analizar los datos de precipitación y temperatura, se emplearon diversas herramientas gráficas y estadísticas, incluyendo gráficos, series temporales, diagramas de

caja y gráficos de doble masa. Estas herramientas permitieron identificar tendencias y variaciones en la consistencia de los datos a lo largo del período analizado.

3.5.2 Evaluación de datos faltantes

Método del vector regional

El vector regional se generó con el software Hydraccess, combinando datos de la estación seleccionada con información de plataformas satelitales. Los resultados se exportaron a hojas de cálculo (Excel) para facilitar la evaluación y el análisis de la calidad de los datos de precipitación y temperatura mediante la correlación entre el conjunto de datos de la estación meteorológica y las plataformas satelitales con el vector.

3.5.3 Relleno de datos faltantes

Se hizo el complemento de la información faltante proveniente de la estación meteorológica frente a la falta de datos de precipitación adicional que fue provista por sensores en satélites.

3.5.4 Correlación de datos

Se emplearon plataformas satelitales de grado industrial para recopilar los datos de precipitación recuperados por satélite, completando así la información faltante del conjunto de datos de la estación meteorológica.

Coefficiente de correlación de Pearson.

Para determinar la precisión de la información satelital, se realizó un análisis de correlación con datos capturados por estaciones meteorológicas. El coeficiente de correlación se calculó para cuantificar la relación entre las predicciones satelitales y las mediciones directas de las estaciones, que se representa con la siguiente ecuación:

$$r_{xy} = \frac{\sum xy}{\sqrt{\sum x^2} \sqrt{\sum y^2}} \quad (6)$$

Donde:

- $\sum x^2$ = Sumatoria de cuadrados x
- $\sum y^2$ = Sumatoria de cuadrados y 34
- r_{xy} = valor de la correlación

Intervalos

Entre 0 y 0,1 o (0 y -0,1) Correlación muy débil

Entre 0,1 y 0,3 o (-0,1 y -0,3) Correlación débil

Entre 0,3 y 0,5 o (-0,3 y -0,5) Correlación moderada

Entre 0,5 y 0,7 o (-0,5 y -0,7) Correlación fuerte

Entre 0,7 y 1 o (-0,7 y -1) Correlación muy fuerte

3.5.5 Análisis confirmatorio

Este análisis se utilizó para validar los datos de precipitación mientras se comprobaba la precisión de los modelos de pronóstico, prestando especial atención a aquellos modelos con la mayor precisión y fiabilidad. Al hacerlo, se utilizaron los datos de la plataforma satelital y se calcularon el error porcentual absoluto, el error cuadrático medio y el porcentaje de sesgo. Este cálculo se realizó con Trend y lo siguiente explica los parámetros estadísticos utilizados.

Error porcentual absoluto medio (MAPE)

El error porcentual absoluto medio (MAPE) es una métrica estadística destinada a comprobar la fiabilidad de los modelos de datos de precipitaciones provenientes de distintas fuentes. Esta medida permite garantizar la consistencia entre los datos que se han comparado. Su interpretación resulta intuitiva: en un rango bajo, los valores pronosticados se aproximan a los reales; en un rango alto, hay mayor discrepancia (Armstrong, 2020).

$$M = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{At - Ft}{At} \right| \quad (7)$$

Donde:

A_t valor real en el periodo t ; F_t es el valor de predicción en el periodo t ; y n es el número total de períodos temporales.

Intervalos

MAPE Menor al 10%: Excelente precisión

10% y 20%: Buena precisión

20% y 50%: Precisión aceptable

mayor al 50%: Mala precisión

Error cuadrático medio (RMSE)

RMSE, o error cuadrático medio, se utilizó para estimar la dispersión de los valores de precipitación y así determinar cómo se agruparon los datos con respecto a la línea de regresión. Un valor bajo de RMSE indica que las predicciones del modelo están, en promedio, muy cerca de los valores reales, mientras que un valor alto de RMSE indica que el modelo tiene un error considerable en sus predicciones (Smith & Johnson, 2021).

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(\hat{y}_i - y_i)^2}{n}} \quad (8)$$

Donde: **n** es el número de observaciones, Y_i es el valor observado (real); y $\hat{y}_i$ es el valor predicho por el modelo.

Porcentaje de sesgo (PBIAS)

El porcentaje de sesgo lleva a cabo una medición de tipo estadístico que sirve para comprobar cuán preciso son los datos obtenidos de las plataformas satelitales en comparación con aquellos provenientes de la estación Maguazo (González et al., 2023). De esta manera, es posible discernir tanto la magnitud como la dirección del sesgo en las predicciones y, por tanto, proporcionar una cuantificación objetiva de la exactitud del modelo. Para calcular este estadístico, se empleó la siguiente ecuación:

$$PBIAS = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)}{\sum_{i=1}^n O_i} \right) \times 100 \quad (9)$$

Donde:

- O_i son los valores observados.
- P_i son los valores predichos por el modelo

PBIAS Interpretación

PBIAS menor al 10%: Muy buen ajuste

10% PBIAS y 20%: Buen ajuste

20% PBIAS y 40%: Ajuste aceptable

Mayor al 40%: Ajuste deficiente

3.6 Fase 3: Análisis de la variabilidad de precipitación y temperatura en tres subperiodos de 10 años desde 1990-2020

Para evaluar la variabilidad en las series de precipitación generadas por actividades naturales o humanas, como el calentamiento global, se definieron dos supuestos: la homogeneidad (sin tendencia) y la estacionalidad (estable a lo largo del tiempo). Los supuestos de homogeneidad se utilizaron para detectar puntos de cambio y variaciones en los datos de las series temporales lo que facilita el análisis y la predicción de estas series (Martínez et al., 2022; Wang & Zhang, 2019). Para llevar a cabo esta evaluación, se aplicaron estadísticamente dos pruebas no paramétricas empleando el software Trend.

3.6.1 Cambio en la media

Prueba Pettit

La prueba de Pettit, que es una prueba no paramétrica, se empleó para determinar el momento exacto en que ocurrió un cambio en la media de los datos y para analizar las rupturas en las series temporales, especialmente relacionados con cambios o eventos significativos en la precipitación anual en la estación de Alao (García, 2021).

Tendencia de Mann-Kendall

El análisis de tendencias de datos ambientales se realiza utilizando el método no paramétrico de Mann-Kendall. Se utilizó para evaluar estadísticamente la existencia de tendencias significativas, tanto crecientes como decrecientes, durante un período de 30 años en las fases de precipitación y temperatura, escalando en tres períodos sub-decadal de diez años cada uno. Los datos fueron obtenidos de una estación meteorológica y plataformas satelitales (Lopez et al., 2020).

$$S = \sum_{k=1}^{n_1=1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (10)$$

$$\text{sgn}(x_j - x_k) = \begin{cases} 1, & x_i - x_j > 0 \text{ creciente} \\ 0, & x_i - x_j = 0 \text{ sin tendencia} \\ -1, & x_i - x_j < 0 \text{ decreciente} \end{cases} \quad (11)$$

Donde:

n es la longitud del conjunto de datos de la serie temporal y x_i y x_j valor de la serie temporal en la posición i y j respectivamente y **Sgn ($x_j - x_i$)** es la función signo que toma los valores. El valor de S se comparó con un nivel de significancia de 0,05 para determinar la significancia de las tendencias. Un valor positivo de S indica una tendencia creciente, mientras que un valor negativo indica una tendencia decreciente. Para evaluar la magnitud de estas tendencias, se utilizó el estimador de pendiente de Sen, que permitió calcular las tasas de cambio mensuales (Hishaam et al., 2015).

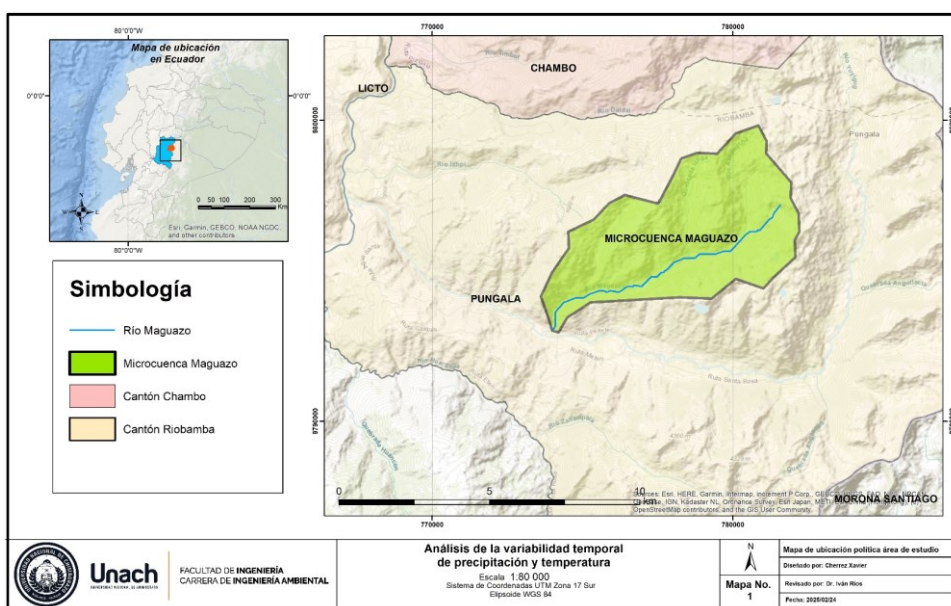
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Descripción del área de estudio

Ubicación política del área de estudio

La microcuenca del río Maguazo se sitúa en la parroquia Pungalá, dentro del cantón Riobamba. Esta área está aproximadamente a 40 km al sureste de la ciudad, en una región montañosa caracterizada por su variada altitud, entre los 2500 y 3500 m.s.n.m. La microcuenca limita al norte con el cantón Chambo, al sur con el cantón Guamote, al este con el cantón Pablo Sexto, y al oeste con las parroquias de Licto y Punín. El río Maguazo, con una extensión de aproximadamente 6 km, constituye el principal recurso hídrico de la microcuenca. (GADM Riobamba, 2020).

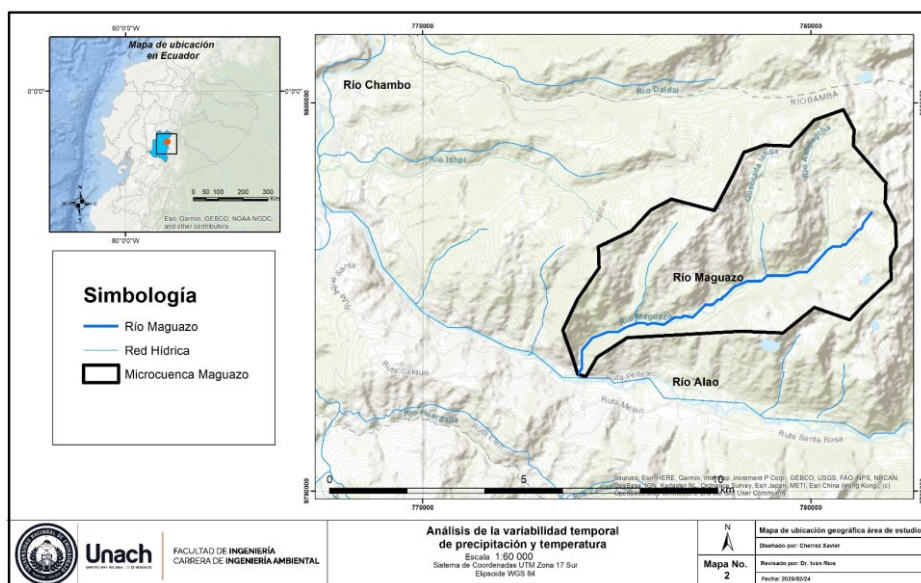
Figura 1. Mapa de ubicación política de la microcuenca del río Maguazo



Ubicación geográfica e hidrográfica del área de estudio

La microcuenca del río Maguazo es parte de la subcuenca del río Chambo y forma parte del sistema hídrico de la cuenca del río Pastaza. Se localiza en las coordenadas UTM Datum 84: 778 000,00 E y 9 796 500,00 N. El principal afluente de esta microcuenca es el río Maguazo, que, junto con otros ríos menores, alimenta el sistema hídrico local. Estos ríos son fundamentales, ya que contribuyen al flujo del río Chambo, el cual a su vez es un tributario que forma parte del extenso sistema hídrico del Amazonas.

Figura 2. Mapa de ubicación geográfica de la microcuenca del río Maguazo



4.1.1 Parámetros morfométricos de la microcuenca

En la tabla 3 se muestra que la microcuenca del río Maguazo ocupa un área de 30,85 km², con un perímetro de 25,75 km y longitud del cauce principal de 9,66 km, siendo de orden 3 y perteneciendo a una microcuenca pequeña

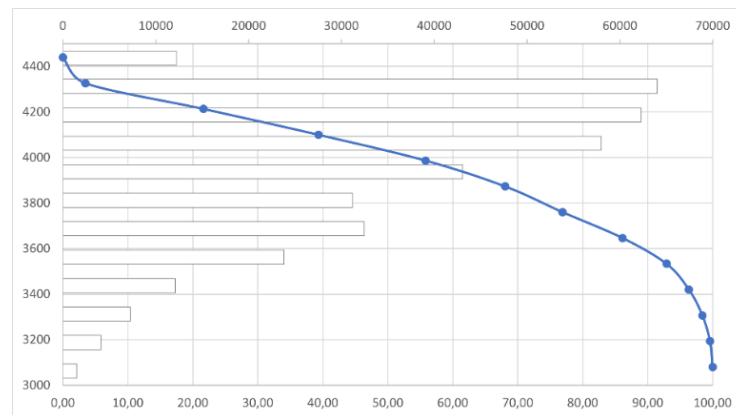
Tabla 3. Parámetros morfométricos de la microcuenca del río Maguazo

Descripción	Unidades	Valor
Parámetro de forma		
Área de la microcuenca	Km ²	30,85
Perímetro de la microcuenca	Km	25,75
Índice de compacidad	Adimensional	1,31
Cota Máxima	m.s.n.m	4396
Cota Mínima	m.s.n.m	3105
Relieve		
X centroide	m	778362,88
Y centroide	m	9796192,49
Pendiente	%	44,32
Pendiente media de la cuenca	%	48,93
Red hídrica		
Longitud de curso principal	Km	9,66
Orden de la red	Und	2
Tiempo de concentración	horas	0,80

La microcuenca presenta una forma alargada y ovalada, lo que implica que podría haber una mayor longitud de recorridos de escorrentía, mayor tiempo de retención del agua y potencialmente más variabilidad en la distribución de la escorrentía.

Curva hipsométrica

Figura 3. Curva hipsométrica de la microcuenca del río Maguazo

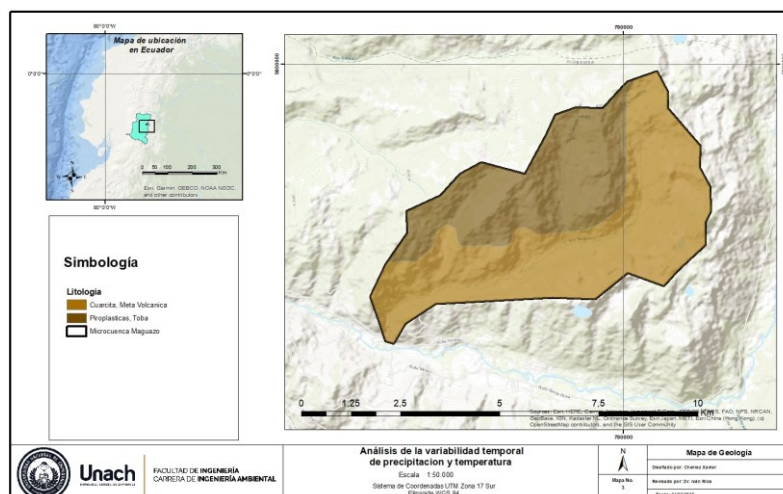


4.1.2 Características físicas de la microcuenca

Geología

La clasificación litológica de la microcuenca, las cuales predominan las cuarcitas, esquistos y rocas metamórficas volcánicas, ocupando un área total de aproximadamente 158,636 km². se encuentran depósitos piroclásticos y tobas, que abarcan un área de 25,136 km². Los depósitos aluviales abarcan una superficie de 1,273 km². La andesita aglomerada, aunque menos extensa, ocupa un área de 0,154 km².

Figura 4. Mapa de cobertura geológica de la microcuenca del río Maguazo

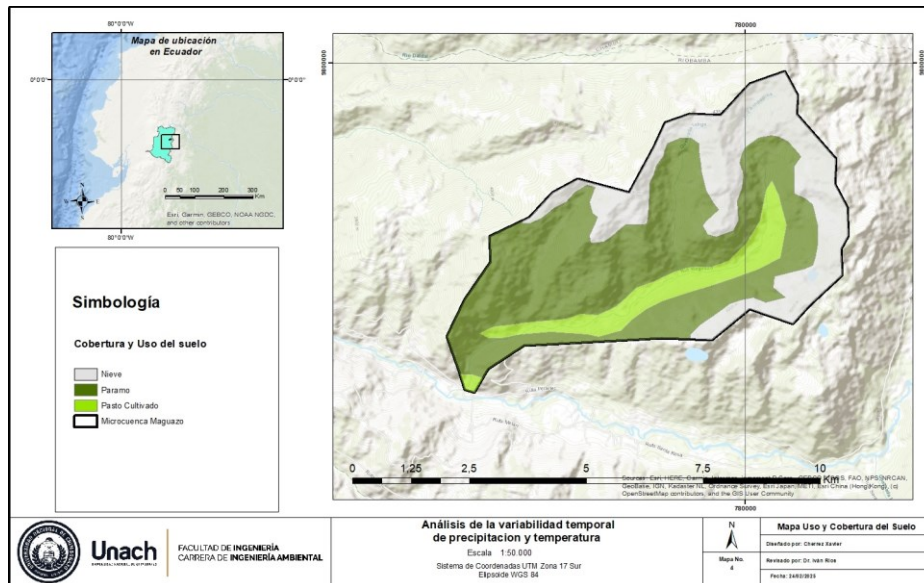


Uso de suelo

En la microcuenca del río Maguazo, el uso y la cobertura del suelo se dividen en diversas categorías. El páramo predomina, ocupando una extensión notable de 82,732 km², seguido por la cobertura de nieve, que abarca 45,31 km². Además, la vegetación arbustiva

ocupa 22,811 km². También se encuentran áreas destinadas a cultivos de ciclo corto y pasto cultivado, aunque su extensión es menor en comparación con las categorías mencionadas.

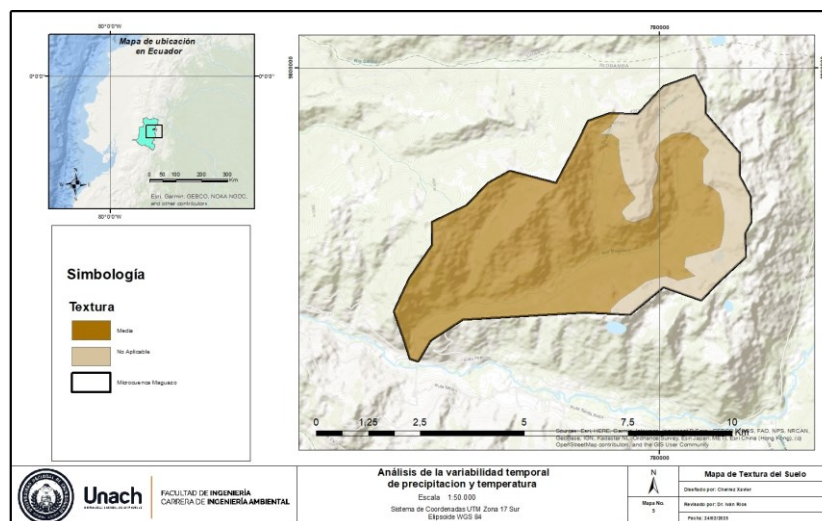
Figura 5. Mapa de cobertura y uso de suelo de la microcuenca del río Maguazo.



Textura del suelo

Las texturas del suelo presentan una notable diversidad. Se identifican texturas finas, medias, moderadamente gruesas y algunas que no son aplicables. La textura que predomina en la zona es la textura media, que ocupa un área de 121,784 km². Las texturas finas y moderadamente gruesas también están presentes, aunque en menor proporción.

Figura 6. Mapa de textura del suelo de la microcuenca del río Maguazo



Relieve

El territorio de la microcuenca del río Maguazo se distingue por un relieve variado, caracterizado por su topografía montañosa y colinas suaves. Esta microcuenca se encuentra en una región de transición entre áreas elevadas y valles. Este relieve presenta diversas formaciones geográficas que influyen en la dinámica hídrica y en los ecosistemas locales.

Tabla 4. *Características físicas de la microcuenca*

Tipo de relieve	Porcentaje (%)
Vertientes convexas	1,16
Laderas coluviales	0,64
Colinas medianas	7,38
Nieve	19,68
Relieve escarpado	16,84
Relieve montañoso	36,80
Superficies de aplanamiento	4,86
Talud de derrumbes	1,15
Vertientes cóncavas	4,22
Vertientes irregulares	7,28

Nota. Fuente: GADPCH, 2014

4.2 Selección de información de precipitación y temperatura

4.2.1 Agrupación de información de las estaciones meteorológicas

Las estaciones meteorológicas listadas en la tabla 1 son administradas por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), históricamente, se ha registrado la precipitación de manera mensual desde 1990 hasta 2013. Cabe resaltar que las estaciones meteorológicas consideradas no poseen información a la radiación solar por temperatura para el rango temporal fijado. Por este motivo, usé una plataforma de información climática satelital como recurso secundario.

4.2.2 Selección de estaciones meteorológicas

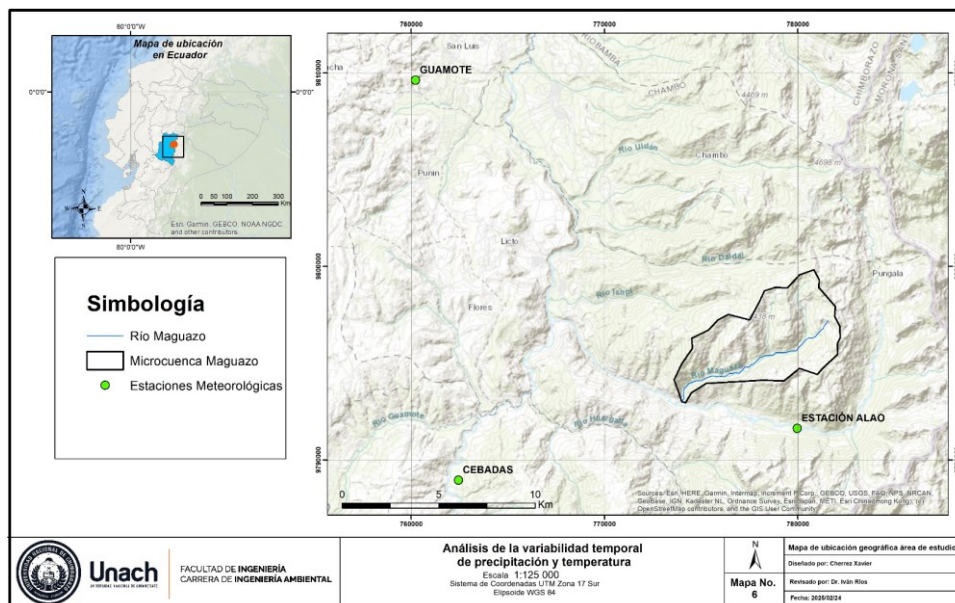
Las estaciones fueron elegidas utilizando dos criterios específicos: su proximidad a la microcuenca del río Maguazo y la existencia de datos de precipitación y temperatura que aseguraran que el porcentaje de datos faltantes fuera inferior al 20%.

Tabla 5. Distancia de las estaciones meteorológicas

Estación	Código	Altitud (m.s.n.m)	Distancia (km)
Alao	M0396	3200	3,56
Cebadas	M0395	2930	18,91
Guamote	M0134	2856	17,49

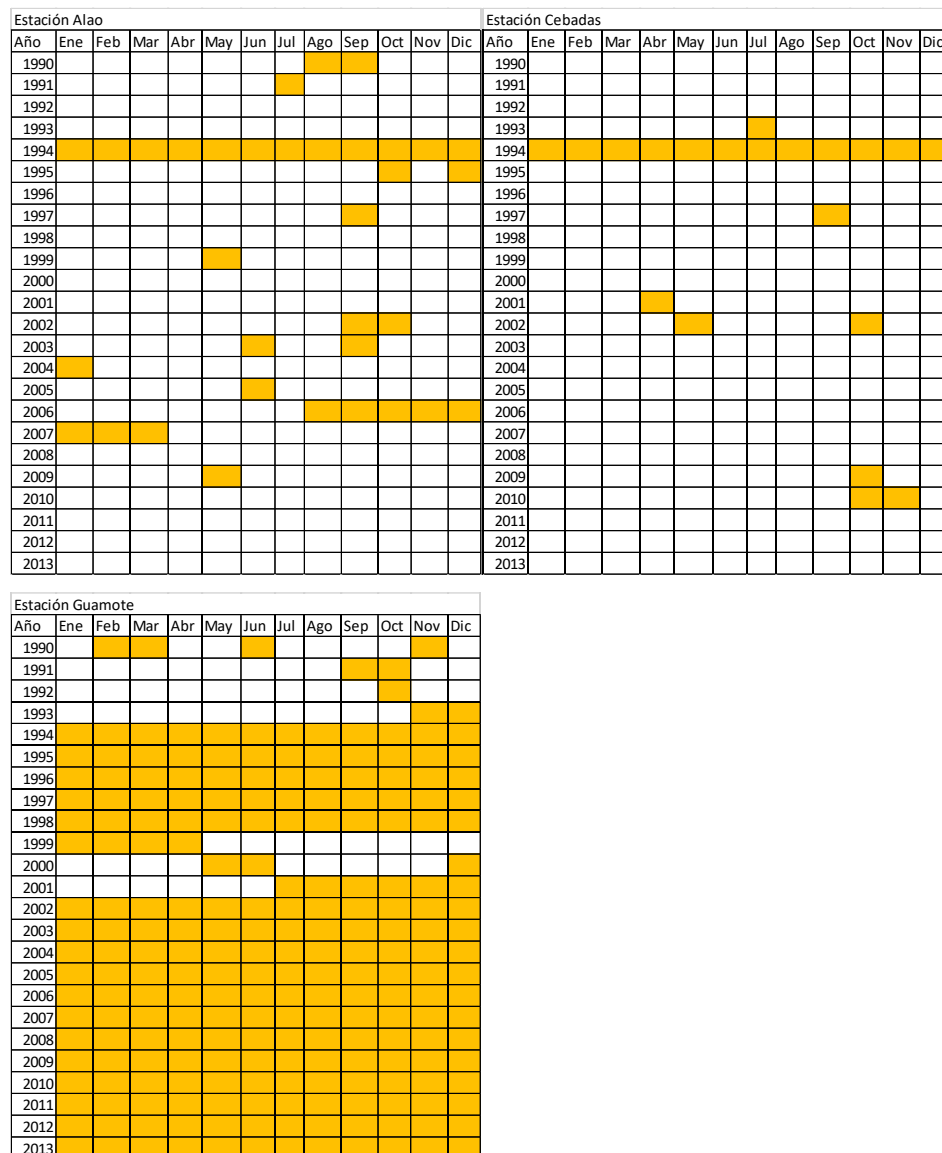
De acuerdo con el primer criterio de selección, la figura 7 y la tabla 5 muestran la proximidad de la microcuenca a las estaciones meteorológicas.

Figura 7. Estaciones meteorológicas disponibles en la microcuenca



La Figura 8 indica los datos mensuales que se recopilieron durante el período de estudio. No obstante, se identificaron datos faltantes en varias estaciones meteorológicas, con los siguientes porcentajes: Alao (12,86%), Cebadas (7,61%), Guamote (22,46%). Debido a la gran cantidad de datos faltantes, se decidió excluir la estación de Guamote del análisis.

Figura 8. Disponibilidad de información pluviométrica de las diferentes estaciones

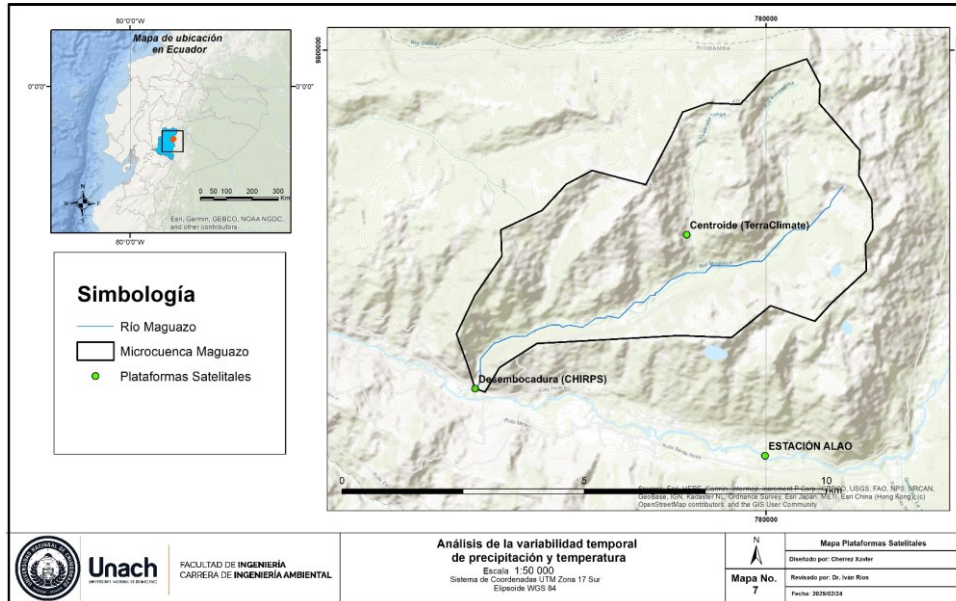


4.2.3 Obtención de información de las plataformas climáticas

Al descargar los datos climáticos, se utilizó la interrelación computacional de cada plataforma para asegurarse de que los resultados obtuvieran mínimos y máximos definidos. Cada sistema cuenta con algoritmos que se identifican a través de Google Earth Engine; sin embargo, estos debieron ser depurados para no generar información excesiva. Se obtuvo información diaria y mensual sobre la precipitación y la temperatura de diversas fuentes como TerraClimate, Chirps y Alao, entre el 01/01/1990 y el 31/12/2020. Otras plataformas fueron excluidas por sus marcadas discrepancias y diferencias en relación con los promedios de la estación meteorológica de referencia. Luego, se estructuró la información de las

variables de las estaciones y de las fuentes satelitales en el formato y orden adecuado en hojas de cálculo de Excel.

Figura 9. Mapa de ubicación de las plataformas satelitales



4.3 Análisis exploratorio de datos

4.3.1 Estadísticos descriptivos de precipitación

Estación Alao

Los resultados de los estadísticos descriptivos se presentan en la tabla 7, donde se destaca que la precipitación anual en la microcuenca del río Maguazo es de 1065,02 mm, con un valor máximo obtenido para la precipitación a escala mensual de 532,70 mm, adicionalmente en febrero, abril, junio y agosto no se registraron valores de precipitación. Los datos de precipitación para el período 1990 al 2020 presentan un coeficiente de variación con un valor de 0,31 lo que indica una variación moderada.

Datos Chirps

Los resultados de los estadísticos descriptivos están resumidos en la tabla 8. En esta se destaca la precipitación anual en la microcuenca del río Maguazo es 1230,15 mm, con un valor máximo obtenido de precipitación a escala mensual de 290,84 mm y el valor mínimo de 39,95 mm. Los datos de precipitación para el período 1990 al 2020, presentan un coeficiente de variación con un valor de 0,14 que corresponde a una variabilidad baja.

Datos de TerraClimate

Los resultados de los estadísticos descriptivos se resumen en la tabla 9. En esta se destaca que la precipitación anual en la microcuenca del río Maguazo es 1119,25 mm, con un valor máximo obtenido para la precipitación a escala mensual de 540,86 mm y un valor mínimo de 4,77 mm de precipitación. Los datos de precipitación para el período 1990 al 2020 presentan un coeficiente de variación de 0,30 que corresponde a una variabilidad moderada.

Tabla 6. *Análisis estadístico descriptivo de datos de precipitación de la estación de Alao*

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Media	60,39	82,29	89,77	116,23	107,57	106,43	110,17	65,86	68,87	87,64	98,06	71,75	1065,02
Varianza	1231,15	1569,21	1140,26	2421,19	2991,39	4620,31	4603,84	1463,55	1333,71	2360,10	8536,37	2488,23	110853,86
Desviación estándar	35,09	39,61	33,77	49,21	54,69	67,97	67,85	38,26	36,52	48,58	92,39	49,88	332,95
Coeficiente Variación	0,58	0,48	0,38	0,42	0,51	0,64	0,62	0,58	0,53	0,55	0,94	0,70	0,31
Coeficiente Sesgo	0,89	0,41	0,73	0,55	0,74	1,23	1,00	0,28	0,22	0,38	3,60	1,32	2,11
Valor Máximo	154,20	185,30	183,50	252,80	232,60	327,90	293,30	149,70	144,10	187,30	532,70	215,90	2332,30
Valor Mínimo	8,00	0,00	32,60	0,00	11,60	0,00	3,40	0,00	0,70	10,60	8,90	12,20	629,30

Tabla 7. *Análisis estadístico descriptivo de precipitación de la plataforma Chirps*

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Media	89,22	127,16	128,93	119,01	120,78	123,11	103,61	71,78	80,81	107,06	73,37	85,32	1230,15
Varianza	973,46	2157,56	1134,12	800,28	1112,45	1559,36	766,43	540,49	1888,38	946,27	390,46	1070,73	29906,68
Desviación estándar	31,20	46,45	33,68	28,29	33,35	39,49	27,68	23,25	43,46	30,76	19,76	32,72	172,94
Coefficiente Variación	0,35	0,37	0,26	0,24	0,28	0,32	0,27	0,32	0,54	0,29	0,27	0,38	0,14
Coefficiente Sesgo	0,70	0,91	0,63	0,60	0,84	1,37	1,50	0,60	3,98	-0,13	1,34	0,99	0,62
Valor Máximo	163,80	239,42	215,46	193,80	192,21	261,65	199,42	122,49	290,84	167,92	135,71	164,22	1677,34
Valor Mínimo	43,04	62,77	73,77	71,96	74,37	58,71	71,75	39,95	43,42	43,73	47,37	41,53	993,60

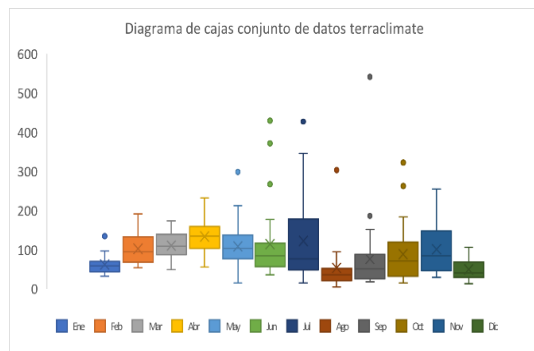
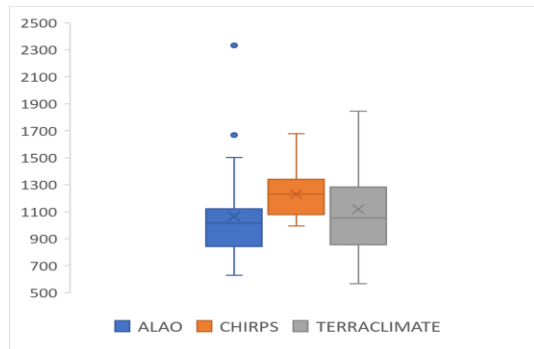
Tabla 8. *Análisis estadístico descriptivo de precipitación de la plataforma TerraClimate*

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Media	61,67	101,99	110,22	133,28	108,40	113,97	121,84	53,33	75,87	88,38	100,73	49,57	1119,25
Varianza	542,7	1252,6	1216,5	1994,0	3270,6	9338,5	10978,3	5010,4	9243,5	5196,5	3762,0	580,4	110655,7
	8	7	0	6	8	1	1	6	9	3	8	5	4
Desviación estándar	23,30	35,39	34,88	44,65	57,19	96,64	104,78	70,78	96,14	72,09	61,34	24,09	332,65
Coefficiente de Variación	0,38	0,35	0,32	0,34	0,53	0,85	0,86	1,33	1,27	0,82	0,61	0,49	0,30
Coefficiente de Sesgo	1,14	0,68	-0,04	0,20	1,22	2,08	1,37	3,21	4,03	1,65	0,85	0,63	0,71
Valor Máximo	134,41	191,11	173,13	232,30	298,63	429,00	426,67	310,43	540,86	321,66	254,56	105,63	1845,07
Valor Mínimo	31,73	53,40	49,22	55,68	14,52	36,01	14,78	4,77	17,50	14,50	29,22	12,78	567,59

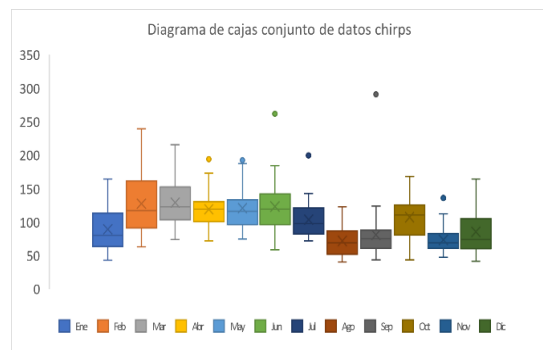
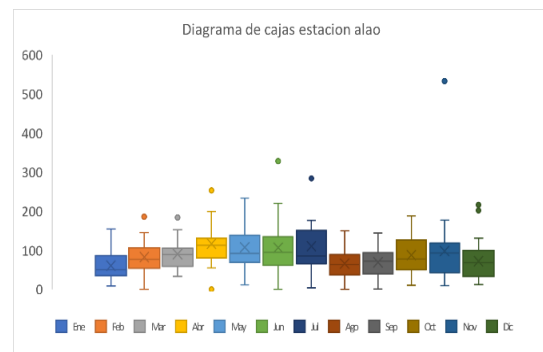
Diagrama de cajas

Tras recopilar la información sobre la concentración, ubicación y fluctuación de los datos de precipitación, se aplicó este método a las series de precipitación anual. Esto permitió realizar una primera evaluación de la calidad de los datos, identificar patrones de comportamiento y detectar posibles valores atípicos.

Figura 10. Diagrama de caja de los datos de precipitación de 1990 al 2020



En la Figura 10 se muestran los datos de



precipitación mensual de junio, septiembre, octubre y algunos puntos pueden considerarse atípicos. No obstante, esta información no se elimina ya que muestra similitudes en las tres fuentes, por ende, igual puede considerarse válida.

4.3.2 Estadístico descriptivo de temperatura

La Tabla 10 exhibe los resultados del análisis estadístico descriptivo. Se puede ver que la temperatura promedio en la microcuenca del río Maguazo es de 10.29 °C, con un promedio mensual máximo de 13.24 °C y un promedio mínimo de 6.94 °C. Los datos de temperatura del año 1990 al 2020 tuvieron un coeficiente de variación de 0.05, lo que demuestra baja variabilidad.

Tabla 9. *Análisis descriptivo de temperatura de la plataforma TerraClimate*

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Media	11,00	10,53	10,01	10,80	10,64	9,56	9,01	8,90	9,78	10,52	11,31	11,37	10,29
Varianza	0,68	0,73	0,89	0,38	0,56	0,59	0,59	0,59	0,57	1,07	0,42	0,62	0,28
Desviación estándar	0,83	0,85	0,95	0,61	0,75	0,77	0,77	0,77	0,75	1,04	0,64	0,79	0,53
Coeficiente Variación	0,08	0,08	0,09	0,06	0,07	0,08	0,08	0,09	0,08	0,10	0,06	0,07	0,05
Coeficiente Sesgo	0,33	0,09	-0,27	0,28	-0,42	-0,39	-0,60	-0,20	0,19	-0,57	0,12	0,50	0,18
Valor Máximo	12,99	12,19	11,79	12,04	11,72	10,74	10,07	10,52	11,72	12,59	12,52	13,24	11,39
Valor Mínimo	9,29	8,89	7,71	9,84	9,19	7,92	7,24	6,94	8,22	8,11	10,29	10,14	9,41

4.4 Análisis de la precipitación

4.4.1 Método de vector regional (MVR)

Para calcular el Vector Regional, se utilizaron los registros de precipitación de la estación Alao junto con los datos de las plataformas Chirps y TerraClimate, como se ilustra en la figura 10. Se evaluaron los coeficientes de correlación anual entre el vector regional de la estación y los de las plataformas, y se estableció que los resultados debían ser iguales o superiores a 0,65 para validar la correlación. los registros de precipitación de la estación Alao junto con los datos de TerraClimate cumplen con la hipótesis de pseudo proporcionalidad, mientras que la estación de chips no cumple. En la tabla 11 se pueden observar los resultados en la columna “Correlación / Vector”.

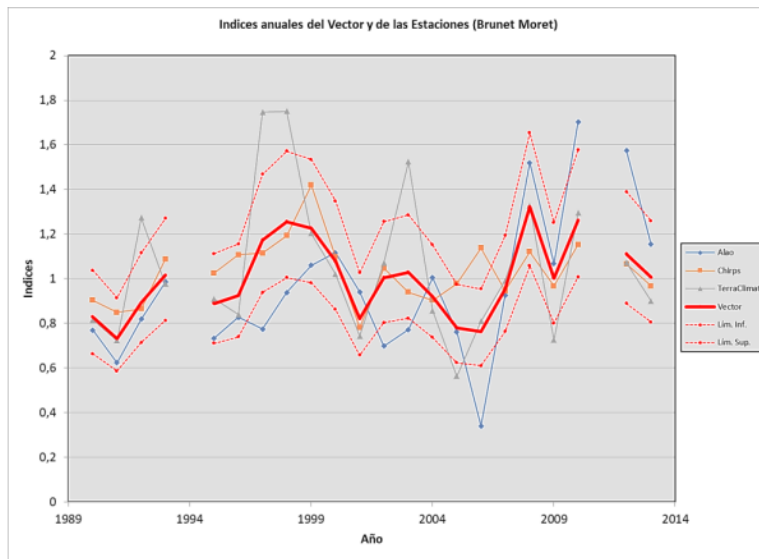
Tabla 10. *Correlación anual del vector y las plataformas satelitales*

Id Estación	Nº Años	Coefficiente Variación	Media Desvíos	Desviación estándar desvíos	Correlación/ Vector
Alao	22	0,33	-0,04	0,23	0,69
Chirps	22	0,14	0,03	0,13	0,67
TerraClimate	22	0,31	0,05	0,23	0,75

Los coeficientes de correlación de 0,67 para Chirps y 0,75 de TerraClimate sugieren una relación estadística entre los datos de precipitación registrados por ambos conjuntos de datos. Esto indica que los aumentos o disminuciones en la precipitación en relación con la subcuenca del río Maguazo tienden a ser similares tanto para Chirps como para Terra Climate a lo largo del período de análisis.

Además, como se ilustra en la figura 11, hay un resumen de la doble acumulación de los índices anuales del vector regional, para los tres conjuntos de datos, y aunque se observan discontinuidades que se analizarán más adelante, existe una buena linealidad en la tendencia general.

Figura 11. Índices anuales del vector regional de la microcuenca Maguazo de 1990 al 2020



Vector regional mensuales con datos sin relleno

Para asegurar la veracidad y validez del conjunto de datos, se llevó a cabo un análisis de correlación mensual, lo que ayudó a confirmar la ausencia de sesgos en el estudio.

Tabla 11. Correlación mensual de enero a abril

Meses	Nº de años	Correlación/Vector		
		Alao	Chirps	TerraClimate
Enero	22	0,89	0,74	0,83
Febrero	22	0,66	0,84	0,72
Marzo	22	0,66	0,68	0,76
Abril	22	0,93	0,66	0,79

La Tabla 11 muestra que de enero a abril los coeficientes de correlación superan 0.65 tanto para Chirps como para TerraClimate. Esto indica que hay algún nivel de relación respecto a los datos de precipitación derivados de ambos conjuntos de datos en estos meses. En consecuencia, los cambios en la precipitación dentro de la microcuenca del río Maguazo son aproximadamente equivalentes para Chirps y TerraClimate en este período.

Tabla 12. *Correlación mensual de mayo a agosto*

Meses	N° de años	Correlación/Vector		
		Alao	Chirps	TerraClimate
Mayo	29	0,73	0,81	0,79
Junio	29	0,47	0,45	0,88
Julio	29	0,70	0,60	0,75
Agosto	29	0,55	0,54	0,91

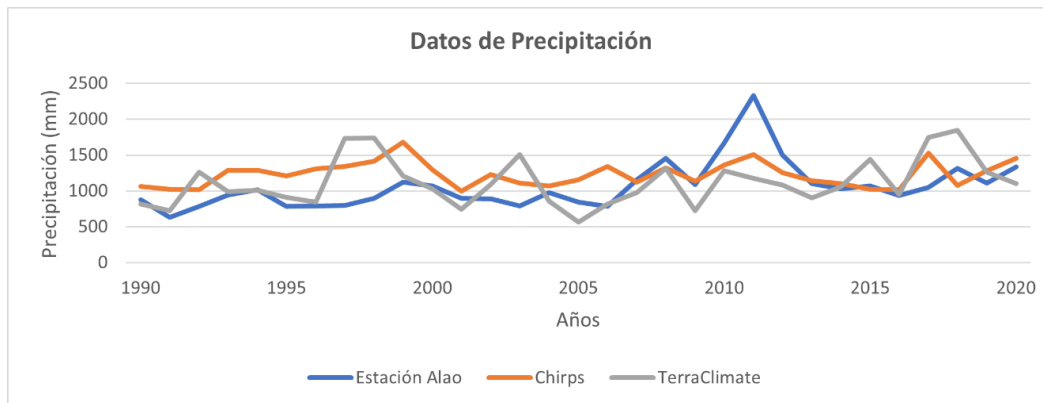
Se hizo una correlación para los meses de mayo a agosto y sus resultados se centran en la Tabla 12. Para el mes de mayo, existe una correlación bastante alta para los valores de precipitación de Chirps y TerraClimate, saliéndose estos de 0.81 y 0.79 respectivamente. No obstante, entre junio y agosto, los datos de Chirps presentan valores de correlación por debajo de 0.65, los cuales evidencian que no los hay. En contraparte, los datos de TerraClimate sí presentan relación durante esos meses. Esto implica que, desde junio a agosto, las tendencias de incremento y decremento de las lluvias en la microcuenca del río Maguazo, observadas a través de Chirps y TerraClimate, no son coherentes.

Tabla 13. *Correlación mensual de septiembre a diciembre*

Meses	N° de años	Correlación/Vector		
		Alao	Chirps	TerraClimate
Septiembre	22	0,57	0,92	0,93
Octubre	22	0,59	0,79	0,80
Noviembre	22	0,69	0,68	0,68
Diciembre	22	0,86	0,77	0,91

La Tabla 13 proporciona los coeficientes de correlación de septiembre a diciembre y muestra que existe una relación estadística fiable entre los chirridos y los registros de lluvias de TerraClimate. Esto sugiere que las fluctuaciones en las precipitaciones dentro de la microcuenca del río Maguazo, a esta época, es probable que estén acopladas en ambas series de datos.

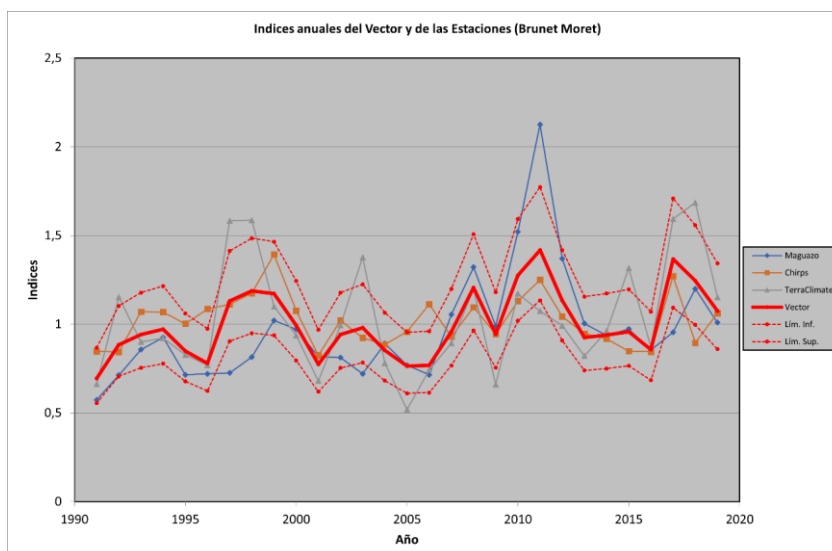
Figura 12. *Serie de datos de precipitación de 1990 al 2020*



Vector regional anual de la microcuenca Maguazo

La figura 13 muestra los coeficientes de correlación entre el vector regional, los datos de la estación Alao y los conjuntos de datos de Chirps y TerraClimate. Los resultados sugieren una relación robusta entre estos conjuntos de datos, indicando que describen un área que es espacialmente homogénea. Cada conjunto de datos muestra una correlación razonable con el vector regional. También se observa una correlación lineal positiva donde se han completado los huecos.

Figura 13. *Índices anuales de vector y las estaciones de 1990 al 2020*



La Tabla 14 muestra los coeficientes de correlación para el conjunto de datos completo. Se observó una correlación anual de 0.644 con los datos de Chirps y 0.735 con TerraClimate, lo que indica que existe alguna relación estadística entre la precipitación

registrada por TerraClimate. Esto implica que la probabilidad de variaciones en las precipitaciones en la microcuenca del río Maguazo es comparable durante ese período para las fuentes de datos examinadas.

Tabla 14. *Correlación anual del vector y de las estaciones de los datos rellenados*

Id Estación	Nº Años	Coefficiente Variación	Media Desvíos	Desviación estándar desvíos	Correlación/ Vector
Alao	29	0,319	-0,031	0,213	0,73
Chirps	29	0,139	0,02	0,145	0,644
TerraClimate	29	0,3	0,32	0,213	0,735

4.4.2 Vector regional mensual de la microcuenca del río Maguazo

Tabla 15. *Indice de correlación del primer grupo mensual*

Meses	Nº de años	Correlación/Vector		
		Alao	Chirps	TerraClimate
Enero	29	0,761	0,723	0,819
Febrero	29	0,683	0,792	0,708
Marzo	29	0,518	0,647	0,707
Abril	29	0,876	0,686	0,754

Los valores de correlación de enero hasta abril están en la tabla 15. En enero, febrero y abril los coeficientes de correlación para Chirps y TerraClimate superan los 0.65. Esto indica que existe una relación, no casual, entre los valores de las precipitaciones registradas por ambos conjuntos de datos. Esto quiere decir que, en los meses mencionados, lo más probable es que las variaciones en las precipitaciones en la microcuenca del río Maguazo sean similares en cuanto a las fuentes consideradas durante ese tiempo.

Mientras que en el mes de marzo el valor presentado por Chirps es inferior a 0,65, lo que indica que no hay una relación estadística. En cambio, los datos de TerraClimate muestran una relación estadística. Esto implica que la probabilidad de variaciones en las precipitaciones en la microcuenca del río Maguazo no es comparable durante este mes.

Tabla 16. *Índice de correlación del segundo mensual*

Meses	N° de años	Correlación/Vector		
		Alao	Chirps	TerraClimate
Mayo	29	0,734	0,832	0,774
Junio	29	0,79	0,525	0,665
Julio	29	0,711	0,541	0,74
Agosto	29	0,728	0,483	0,768

La Tabla 16 muestra la correlación específica para los meses de mayo a agosto. Para mayo, los valores de correlación para Chirps son 0.832 y para TerraClimate, 0.774, lo que muestra cierto grado de relación estadística entre los dos.

Sin embargo, entre junio y agosto, los valores de correlación de Chirps son menores que 0.65, lo que indica que no existe relación estadística en esos meses; en contraposición, los datos de TerraClimate sí evidencian una relación. Esto quiere decir que la posibilidad de que existan variaciones en las lluvias dentro de la microcuenca del río Maguazo durante esos meses no es similar.

Tabla 17. *Índice de correlación del tercer mensual*

Meses	N° de años	Correlación/Vector		
		Alao	Chirps	TerraClimate
Septiembre	29	0,576	0,68	0,78
Octubre	29	0,661	0,698	0,762
Noviembre	29	0,767	0,673	0,665
Diciembre	29	0,849	0,742	0,855

Todos los valores dentro de ambos conjuntos de datos, Chirps y TerraClimate, superan el umbral de 0.65, confirmando una fuerte correlación estadística entre la lluvia medida por ambos conjuntos de datos. Esta precisión indica una consistencia confiable entre los dos conjuntos de datos. Todo esto se condensa en la Tabla 17. Se infiere que los cambios (aumentos y disminuciones) en la precipitación en la microcuenca del río Maguazo son similares en Chirps y TerraClimate durante este período de tiempo.

4.5 Validación de datos

Se implementaron diversas pruebas estadísticas para llevar a cabo la comparación entre los datos estimados de Chirps y TerraClimate y los registros de la estación Alao. Entre ellas se encuentran el coeficiente de correlación de Pearson, el error porcentual absoluto, el error cuadrático medio y el porcentaje de sesgo.

Correlación mensual de Pearson

En la tabla 19 se presentan los datos sobre la correlación mensual entre la estación Alao y las plataformas satelitales. Los coeficientes de correlación para Chirps varían entre 0,44 y 0,84, lo que sugiere una correlación de moderada a fuerte. En cambio, para TerraClimate, los valores oscilan entre 0,64 y 0,88, lo que indica una correlación que varía de fuerte a muy fuerte.

Tabla 18. *Correlación Pearson de los datos mensuales de precipitación*

Meses	Alao/TerraClimate	Alao/Chirps
Enero	0,77	0,75
Febrero	0,71	0,82
Marzo	0,74	0,73
Abril	0,81	0,74
Mayo	0,75	0,77
Junio	0,85	0,44
Julio	0,72	0,62
Agosto	0,84	0,54
Septiembre	0,87	0,84
Octubre	0,76	0,78
Noviembre	0,64	0,54
Diciembre	0,88	0,62

Como se indicó anteriormente, basándose en los datos de Chirps y TerraClimate, la variabilidad anual de la precipitación corresponde a un coeficiente de Pearson de 0.712 y 0.708, respectivamente, como se muestra en las figuras 17 y 18. Estos valores, calculados a un nivel de confianza del 95%, demuestran que hay una fuerte correlación. Esto refuerza nuestra posición anterior respecto a la relación entre los datos de precipitación y los registros de la estación Alao, documentados en la Tabla 20.

Figura 14. *Dispersión de la precipitación de la plataforma Chirps*

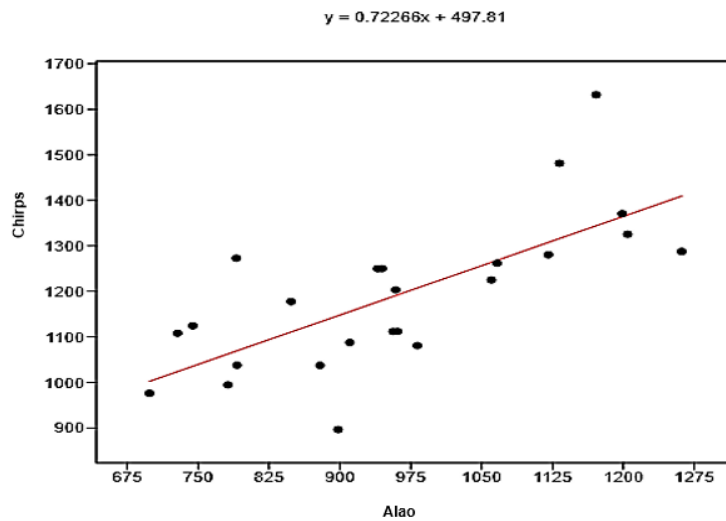


Figura 15. *Dispersión de la precipitación de la plataforma TerraClimate*

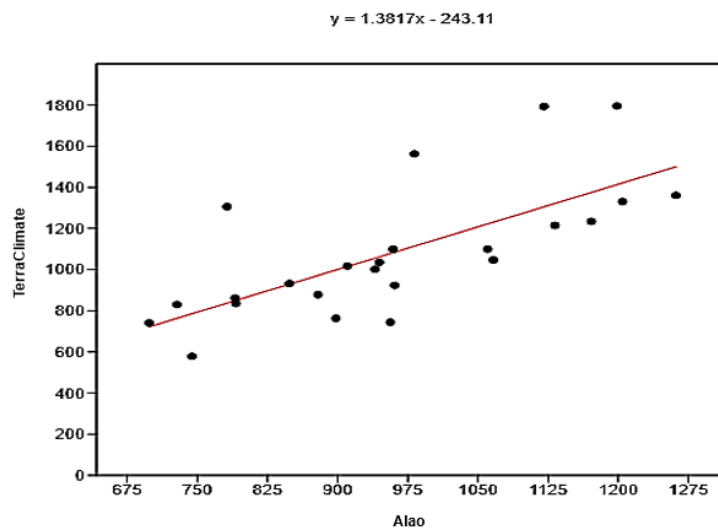


Tabla 19. *Resultados de la evaluación estadística del conjunto de datos*

Estadística	Chirps	TerraClimate
r-Pearson	0,712	0,708
RMSE	231,67	123,15
MAPE %	7,462	9,726
PBIAS %	24,14	12,83

En el análisis de validación para los datos bajo la Tabla 20, se puede ver que los resultados para la precipitación muestran una correlación significativa. El valor RMSE determinado fue de 231.67 para Chirps y 123.15 para TerraClimate considerando algunos

valores atípicos para esta variable. Para MAPE, los resultados muestran 7.462% para Chirps y 9.726% para TerraClimate, lo que sugiere que el conjunto de datos es bastante preciso. Al evaluar con PBIAS, los valores obtenidos fueron 24.14% para Chirps y 12.83% para TerraClimate, demostrando que tienen una precisión razonable.

4.6 Análisis de homogeneidad y estacionariedad

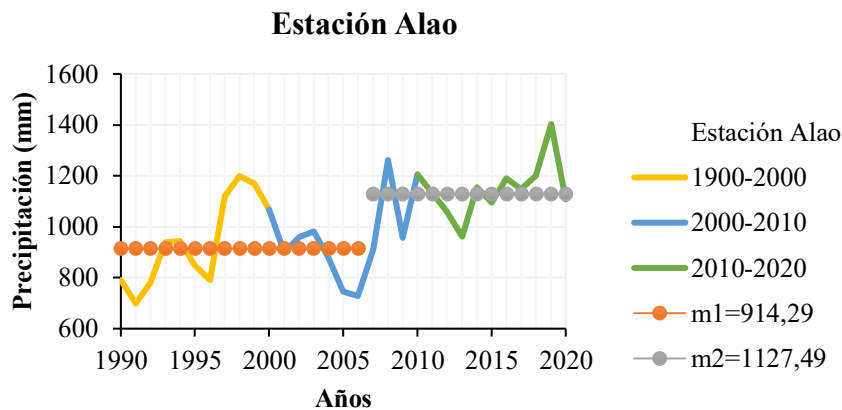
Para analizar la variabilidad en las series de precipitación y temperatura causadas por factores naturales o actividades humanas, como el calentamiento global, se formularon dos supuestos: homogeneidad (sin tendencias) y estacionariedad (constante a lo largo del tiempo). Se llevaron a cabo evaluaciones estadísticas utilizando dos pruebas no paramétricas.

4.6.1 Cambio en la media

Prueba pettit de los datos de precipitación

A través de la aplicación de la prueba de Pettit, se identificaron cambios en la serie histórica de precipitación anual de la estación Alao, con un valor registrado de 0,001, por lo que se identifica un cambio significativo en la media durante los años de 2006 hasta el 2007.

Figura 16. Serie temporal de los 3 subperiodos de la estación Maguazo



Prueba petit de precipitación de datos mensuales significativos

Al realizar un análisis anual fue necesario conocer los meses en que se produjeron los cambios, de acuerdo con el análisis mensual se consideran significativos los meses de mayo con un valor de 0,022 y junio con un valor de 0,028.

Figura 17. Serie temporal del mes de mayo de 1990 al 2020

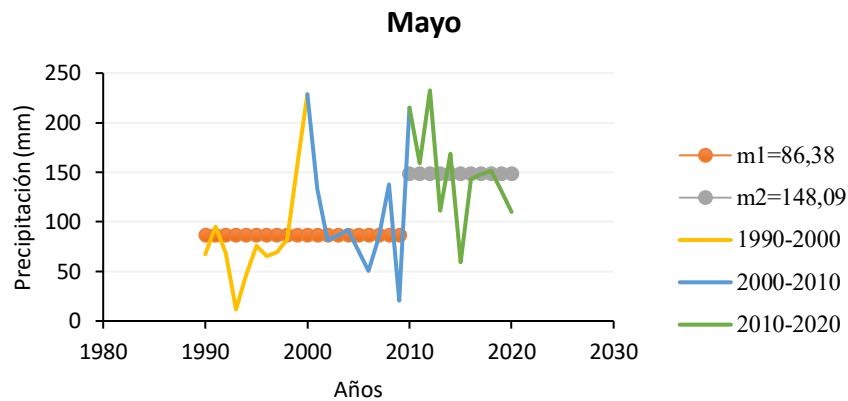
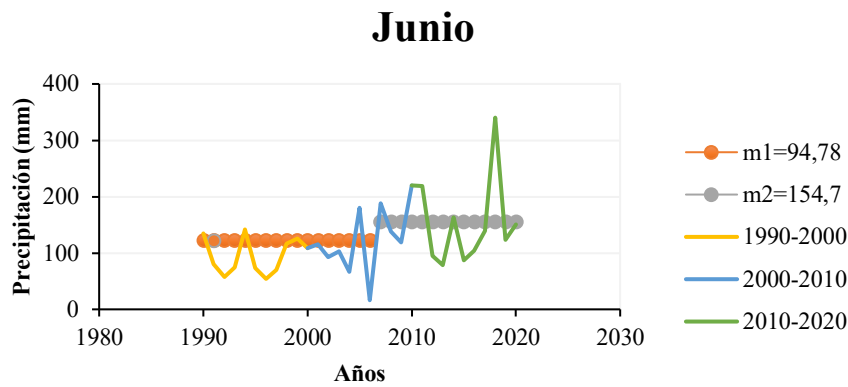


Figura 18. Serie temporal del mes de junio de 1990 al 2020



Tendencia de Mann Kendall de datos de precipitación

Tabla 20. Prueba de Mann Kendall para 1990 al 2020

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Alao	→	→	→	→	↑	↑	→	→	→	→	→	↑
TerraClimate	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
Chirps	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
Leyenda	Sin tendencia →				Tendencia Decreciente ↓				Tendencia Creciente ↑			

Como se evidencia los valores de tendencia de los datos anual y de los tres subperiodos de la estación meteorológica Alao, Chirps y TerraClimate, durante los periodos, el análisis de los datos anuales de la estación meteorológica Alao, se constató que existen tendencias positivas en los meses de mayo, junio y diciembre, con valores de 0,009, 0,027 y 0,014, respectivamente. Cabe mencionar que, los datos de Chirps y TerraClimate no presentaron tendencias significativas.

Figura 19. Serie temporal anual de la tendencia de Mann Kendal

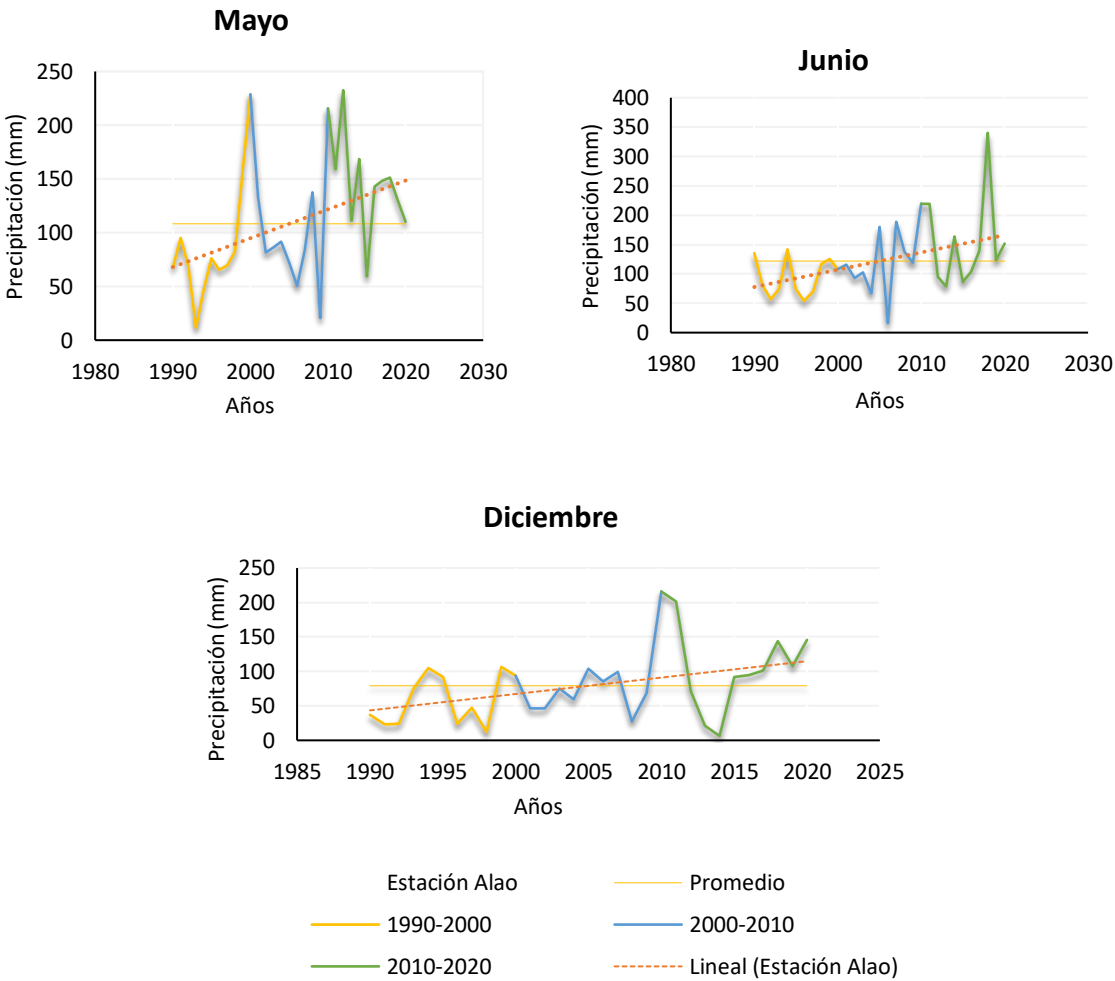


Tabla 21. Tendencia de Mann Kendall para 1990 al 2000

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Alao	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
TerraClimate	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
Chirps	→	→	→	→	→	↑	→	↑	→	→	→	→
Leyenda	Sin tendencia →				Tendencia Decreciente ↓				Tendencia Creciente ↑			

Se observa que en el subperíodo de 1990 a 2000, la tendencia de cambio en la estación de Alao y en la plataforma de TerraClimate no muestra una dirección definida, más en la plataforma de Chirps se observa cambio significativo en el mes de junio y agosto, ambos con un valor de 0,029

Figura 20. Tasa de cambio de precipitación del mes de junio

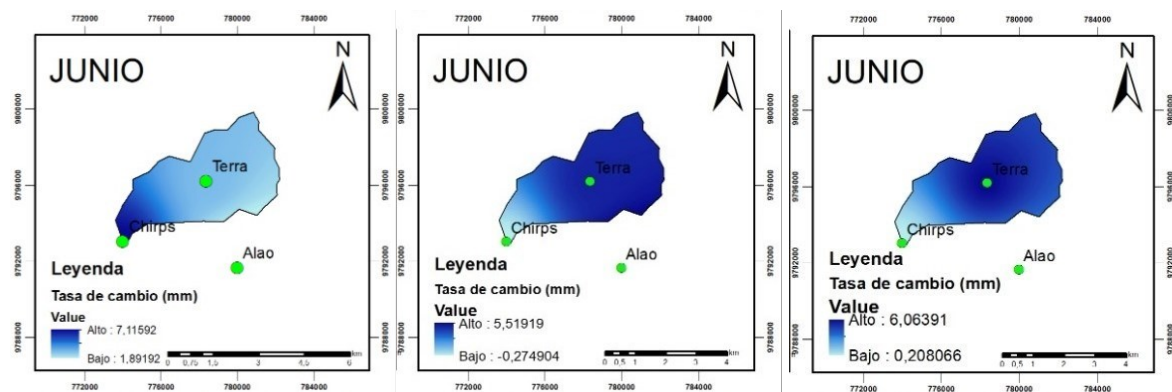


Figura 21. Tasa de cambio de precipitación del mes de agosto

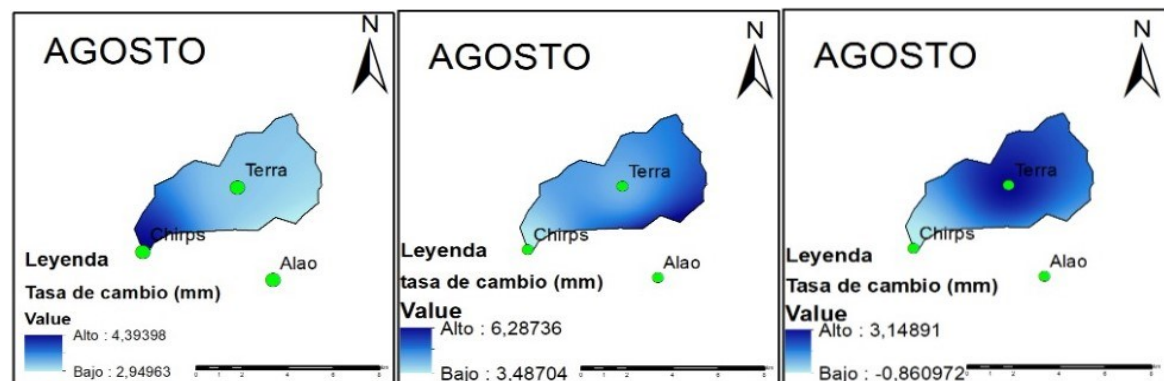


Figura 22. Serie temporal mensual de la tendencia de Mann Kendal durante 1990 al 2020

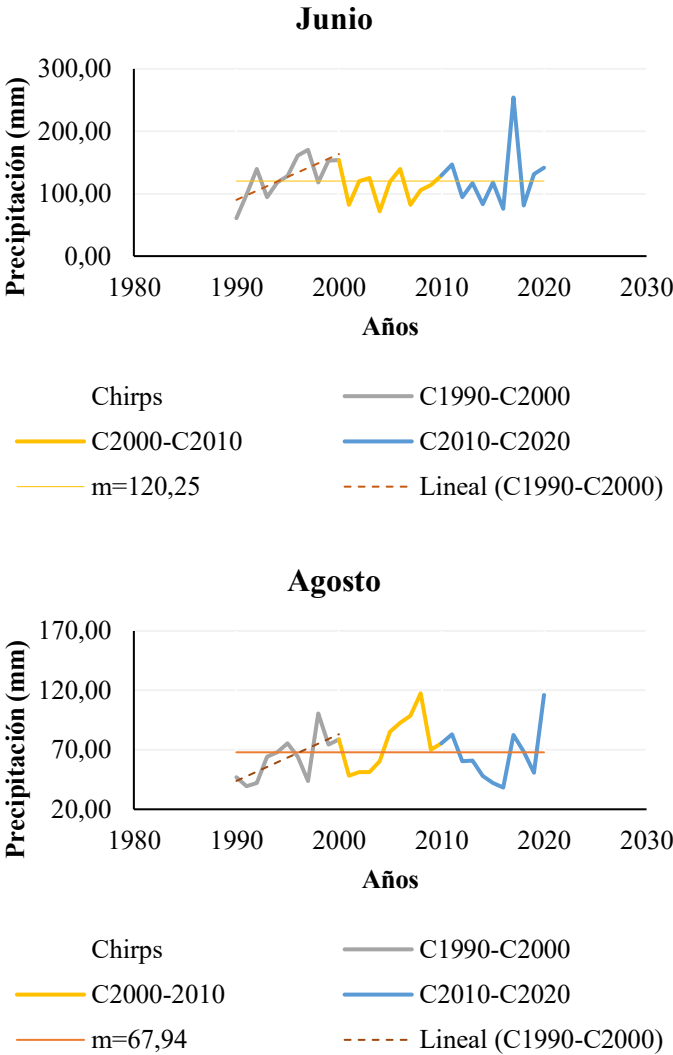


Tabla 22. Tendencia de Mann Kendall para 2000 al 2010

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Alao	→	→	→	→	→	→	→	→	→	↑	→	→
TerraClimate	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
Chirps	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
Leyenda	Sin tendencia			Tendencia Decreciente					Tendencia Creciente			
	→			↓					↑			

Durante el periodo de 2000 al 2010 no se presenta tendencia de cambios en las plataformas de Chirps y TerraClimate, más en la estación de Alao en el mes de octubre presenta un valor de 0,02 con tendencia creciente.

Figura 23. Tasa de cambio de precipitación mes de octubre

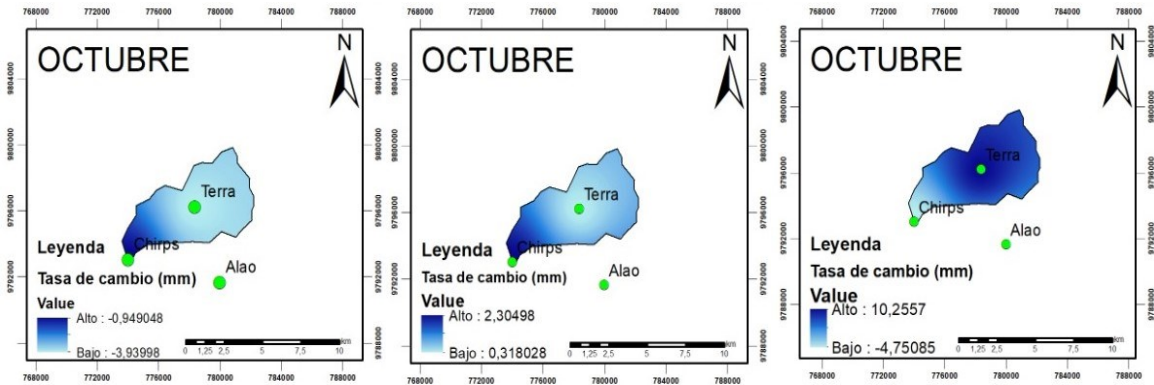


Figura 24. Serie temporal tendencia de Mann Kendall del mes de octubre de 2000 al 2010

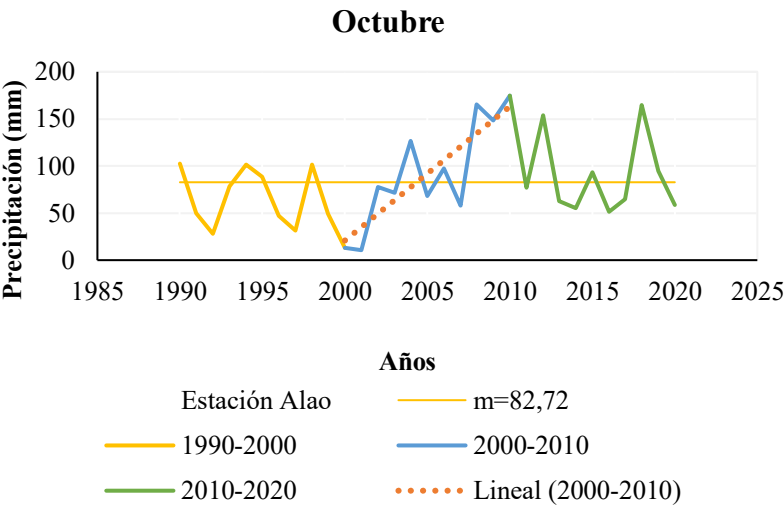


Tabla 23. Tendencia de Mann Kendall para 2010 al 2020

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Alao	➡	➡	➡	➡	➡	➡	➡	➡	⬇	➡	➡	➡
TerraClimate	➡	➡	➡	➡	➡	➡	➡	➡	➡	➡	➡	➡
Chirps	➡	➡	➡	➡	➡	➡	➡	➡	➡	➡	➡	➡

Leyenda	Sin tendencia	Tendencia Decreciente	Tendencia Creciente
	→	↓	↑

En el período de 2010 a 2020, las plataformas de TerraClimate y Chirps no muestran una tendencia de cambio, mientras que en la estación Alao se registra un valor de -0,015 en el mes de septiembre con tendencia decreciente.

Figura 25. Tasa de cambio de precipitación del mes de septiembre

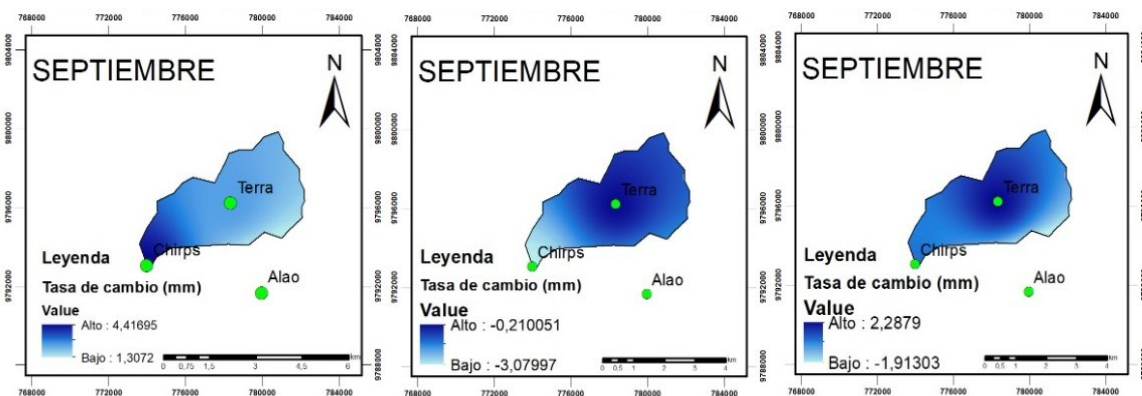
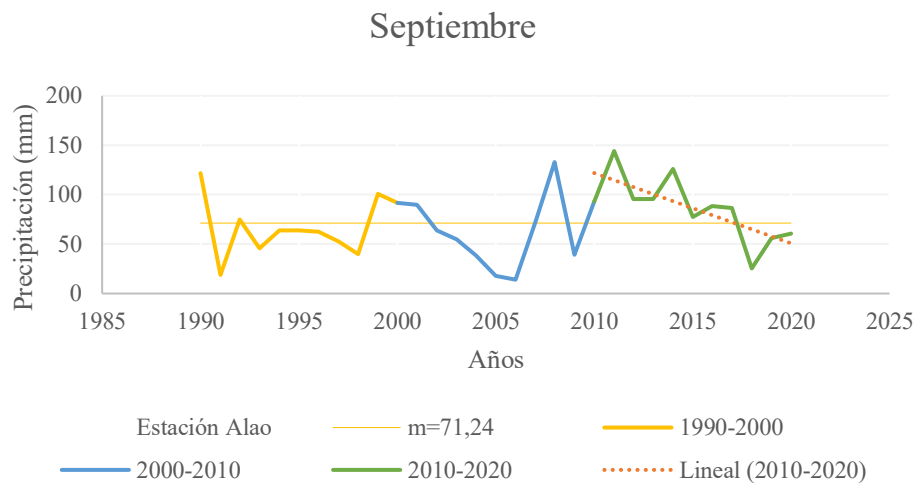


Figura 26. Serie temporal tendencia de Mann Kendal del mes de septiembre de 2010 al 2020



Magnitud de tendencia de precipitación

Se muestra la tasa de cambio interanual (mm/año) de la precipitación mensual de la estación y plataformas satelitales en cada uno de los tres subperiodos. Teniendo en cuenta que en el área de estudio los meses más lluviosos están entre febrero – mayo y octubre - noviembre, mientras que los meses más secos son julio, agosto y septiembre.

Tabla 24. Análisis de tasa de cambio de precipitación del periodo del 1990 al 2020

1990-2000												
Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Alao	0,89	5,79	1,5	4,6	8,875	-0,15	-0,2	2,475	-0,3	-4,1	-3,8	3,64
TerraClimate	2,75	1,87	2,42	6,13	11,21	3,20	0,85	3,21	2,53	-3,94	7,35	0,45
Chirps	3,54	5,32	4,77	2,53	7,29	7,12	1,02	4,39	4,42	-0,95	0,48	-0,08
2000-2010												
Alao	4,22	-2,94	4,76	1,92	-7,7	7,1	8,4	8,64	-2,77	1,41	4,7	3,25
TerraClimate	0,64	3,38	1,24	-4,57	-3,75	4,85	12,10	4,14	-0,21	0,32	-10,48	0,49
Chirps	0,19	-1,96	-0,23	-0,68	-0,51	-0,28	3,99	3,49	-3,08	2,31	1,45	1,57
2010-2020												
Alao	-7,4	-3,83	-3,33	-8,68	-8,23	2,28	-4,73	-2	-6,03	-2,13	-12,25	4,40
TerraClimate	1,41	-3,54	3,76	-3,54	-1,65	6,06	2,68	3,15	2,29	10,26	3,38	1,72
Chirps	1,29	-4,13	-0,31	-0,89	1,77	0,21	-1,54	-0,86	0,71	-4,75	-1,17	0,98
Leyenda	Sin Tendencia				Tendencia Negativa 				Tendencia Positiva 			

El período de 1990 a 2000 marca un crecimiento positivo durante este subperíodo, especialmente durante la temporada de lluvias entre febrero y mayo. No obstante, hay una tendencia a la baja en las precipitaciones alrededor de octubre.

El periodo que abarca del 2000 al 2010 está marcado por una notable disminución entre la mitad de febrero a mayo, así como en septiembre, lo que afecta el patrón de los meses de lluvia en la región. Durante la década comprendida entre el 2010 y el 2020, se observan algunas tendencias positivas en el consumo, pero limitadas a los meses de junio y diciembre; en el resto del año, la tendencia es negativa. Estos cambios son dañinos para la generación y la disponibilidad de agua, lo que a su vez afecta la reserva hídrica en la cuenca del río Maguazo.

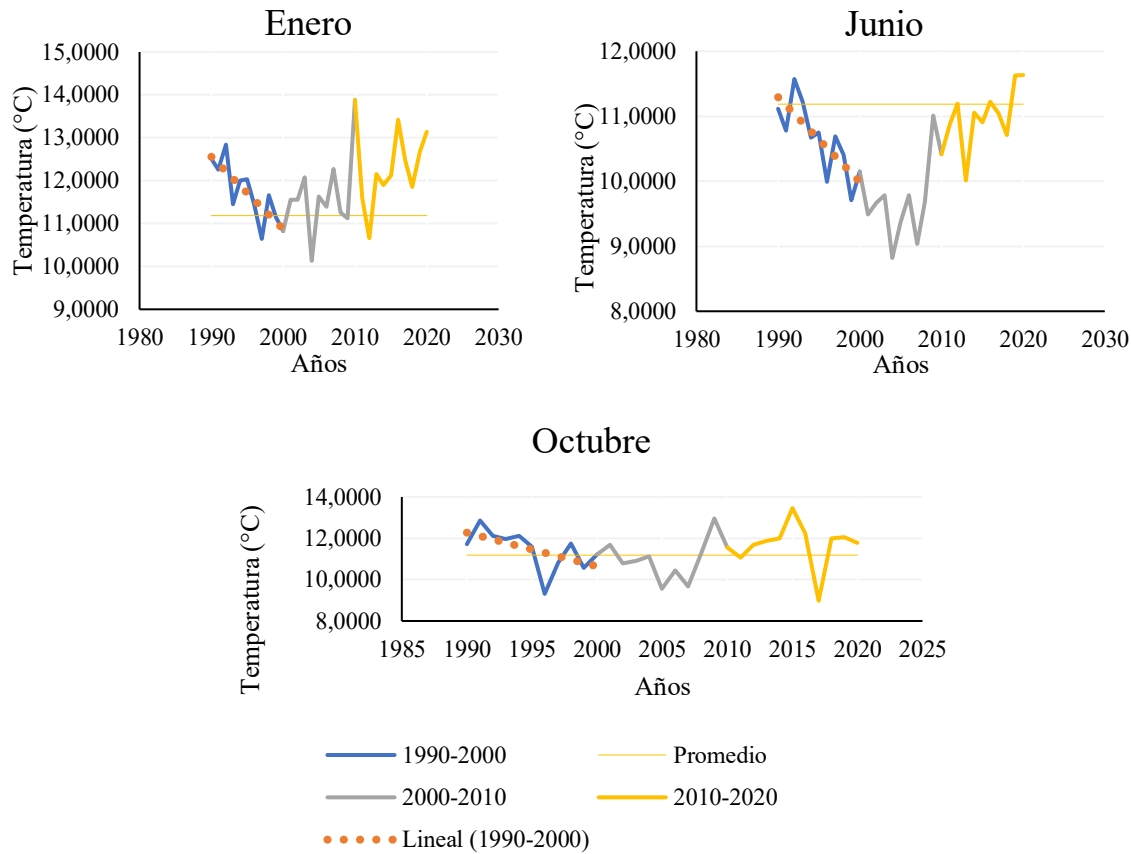
Análisis de Variabilidad de Temperatura de los meses significativo

De acuerdo con la tabla 25 y las figuras 27 y 28, durante el subperíodo 1990–2000, enero, marzo, mayo, junio, octubre y noviembre experimentan una tendencia negativa que implica que las temperaturas promedio de estos meses disminuyen de manera notable.

Tabla 25. Tendencia de Mann Kendall para 1990 al 2020

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
TerraClimate												
Leyenda	Sin tendencia			Tendencia Decreciente					Tendencia Creciente			
												

Figura 27. Serie temporal tendencia de Mann Kendal mensual de 1990 al 2000



En el subperíodo de 2000 a 2010, no se observa ninguna tendencia de cambios significativa, como se detalla en la tabla 26.

Tabla 26. Tendencia de Mann Kendall para 2000 al 2010

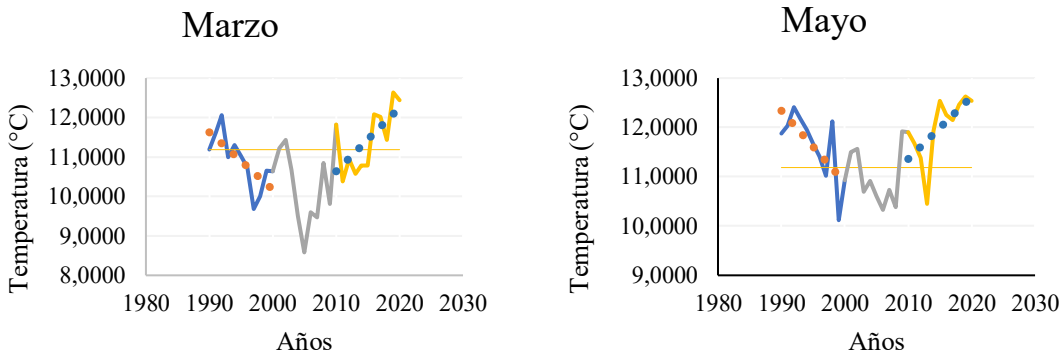
Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
TerraClimate	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
Leyenda	Sin tendencia →			Tendencia Decreciente ↓				Tendencia Creciente ↑				

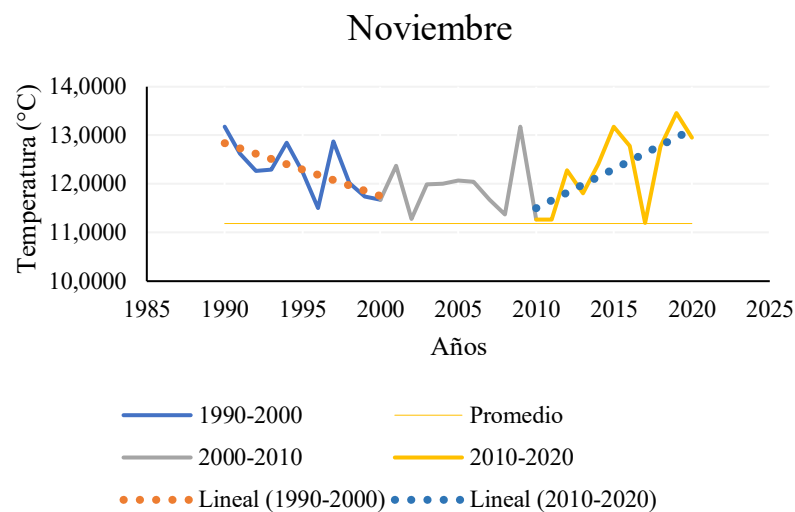
En la figura 28 y la tabla 27, se puede observar que desde el año 2010 hasta 2020, los meses de marzo, mayo y noviembre muestran una tendencia positiva; esto significa que hubo un aumento considerable en la temperatura durante este período.

Tabla 27. Tendencia de Mann Kendall para 2010 al 2020

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
TerraClimate	→	→	↑	→	↑	→	→	→	→	→	↑	↑
Leyenda	Sin tendencia →			Tendencia Decreciente ↓				Tendencia Creciente ↑				

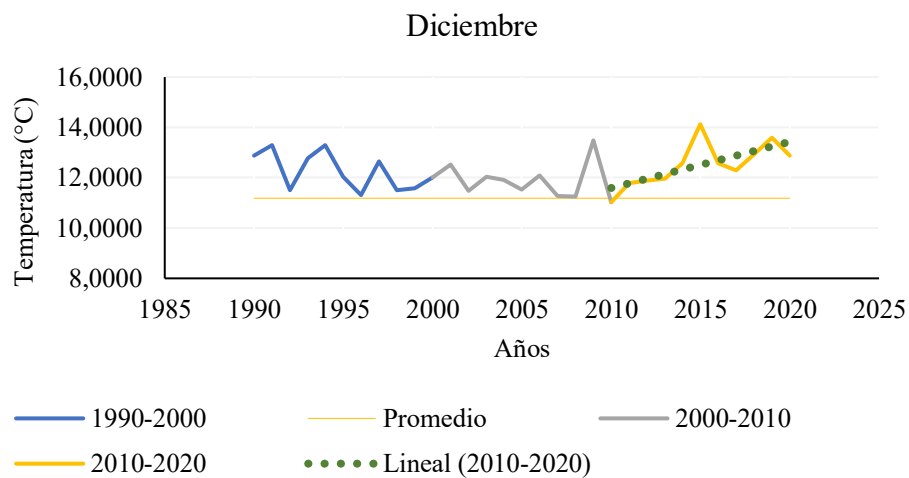
Figura 28. Serie temporal tendencia de Mann Kendal mensual de 1990 al 2020





En el mismo período, el mes de diciembre también muestra una tendencia positiva, lo que indica que la temperatura experimentó un aumento significativo durante este subperíodo, como se ilustra en la figura 29.

Figura 29. Serie temporal tendencia de Mann Kendal mensual de 2010 al 2020



Magnitud de tendencia de temperatura.

La Tabla 28 muestra la magnitud de la tasa de cambio interanual (en grados centígrados) de la temperatura mensual, de acuerdo con los datos de la plataforma satelital TerraClimate para cada uno de los tres subperíodos.

Tabla 28. *Análisis de tasa de cambio de temperatura de 1990 al 2020*

1990-2000												
Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
TerraClimate	-0,17	-0,13	-0,12	-0,12	-0,17	-0,13	-0,09	-0,03	-0,12	-0,16	-0,11	-0,11
2000-2010												
TerraClimate	0,05	0,08	-0,09	-0,02	-0,02	0,06	0,05	0,02	0,02	0,05	-0,03	-0,09
2010-2020												
TerraClimate	0,14	0,23	0,17	0,02	0,11	0,09	0,02	-0,04	0,04	0,05	0,19	0,18
Leyenda	Sin Tendencia				Tendencia Decreciente				Tendencia Creciente			

Durante el subperíodo de 1990 a 2000, las tendencias de cambio son negativas en todos los meses, lo que indica un clima predominantemente frío. En el siguiente subperíodo, de 2000 a 2010, se observan variaciones con tendencias negativas en marzo, abril, mayo, noviembre y diciembre, mientras que los demás meses muestran tendencias positivas. Por otro lado, entre 2010 y 2020, las tendencias de cambio son en su mayoría positivas, lo que sugiere un aumento notable de la temperatura en los últimos años.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

La información de la pluviometría y temperatura de las estaciones meteorológicas, así como las imágenes satelitales, se integraron eficientemente en la microcuenca del río Maguazo. Esta relación evidencia la complementariedad entre los datos obtenidos a partir de las estaciones meteorológicas y plataformas satelitales, así como en su análisis posterior. Los resultados que se obtuvieron, además de enriquecer en gran medida la comprensión del comportamiento climático en la microcuenca, sientan además las bases para futuras investigaciones efectuadas sobre la gestión sostenible de los recursos hídricos en la región.

Con las imágenes de satélite se logró correlacionar las series temporales de precipitación y temperatura relevadas por las estaciones meteorológicas para la microcuenca del río Maguazo. El análisis combinado ha sido útil en el reconocimiento de ciertas anomalías o patrones en los datos climáticos, lo que demuestra la necesidad de emplear todas las fuentes de información disponibles. La correlación establecida, no solo da soporte a la veracidad de los datos satelitales, también en conjunto, facilita el planeamiento y la gestión de los recursos hídricos, entendiendo mejor el clima de la zona.

La variabilidad de la temperatura y percepción de lluvia en diacronía, en términos de su análisis, se realizó en tres subperíodos de 10 años para la microcuenca del río Maguazo. La variante de subdivisiones demostró cambios importantes en tendencias del clima a través del tiempo permitiendo identificar patrones de variabilidad susceptibles a cambios que se pueden realizar a nivel estrategias de recursos hídricos, así como la planeación ambiental. Resultados anticipan la necesidad de realizar un monitoreo permanente y exhaustivo de las condiciones climáticas en el área porque eso, en última instancia, resulta clave para hacer una adecuada intervención sobre los retos derivados de las modificaciones del clima en la zona.

5.2 RECOMENDACIONES

Es preferible que se mantengan los estándares de calidad y la exhaustividad de los datos provenientes de las estaciones meteorológicas, garantizando la meticulosidad y la integridad de los registros. Por otro lado, es fundamental que se incremente la cantidad de estaciones meteorológicas dentro de la microcuenca del río Maguazo, para que se incremente la cobertura y continuación de los datos que se obtienen, permitiendo un análisis más profundo. Esto no solo ayudará a facilitar las investigaciones que se realicen en el futuro, sino que también permitirá tener una mejor administración de los recursos hídricos disponibles en la región.

Alcanzar el estudio del cambio climático resulta crucial en el entendimiento de cualquier fenómeno que impacte al medio ambiente de forma dañina. Igual de importante es la tarea de administrar el recurso natural más importante para la existencia de la vida, el agua, en orden de lograr un desarrollo balanceado y sostenible. La investigación, no solo trata de buscar respuestas, resulta igualmente importante en la difusión responsable de la información, potencia el nivel de razonamiento e intervención que la sociedad tiene en torno a la gestión ambiental.

La “evapotranspiración”, “humedad”, y “radiación solar” debe recibir atención más profunda en relación con la variabilidad climática. Se pretende que, con más de 30 años de datos, se construya una base de apoyo mucho más extensa y confiable, lo que a su vez ayuda a acelerar la identificación de tendencias y patrones. Este enfoque es indispensable para los formuladores de políticas sobre cómo afrontar el cambio climático y para optimizar la mitigación de los impactos por el cambio climático en la zona.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cabrera, L. (2018). Determinación de la vulnerabilidad hídrica del río Guano de la provincia de Chimborazo, en cantidad y calidad y su disponibilidad frente al cambio climático. In *Tesis*. <http://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/7646/1/06678.pdf>
- Cajamarca, J. C. (2022). *La importancia de ordenar las subcuencas hídricas y regular los ríos de Cuenca*. 169. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/22525>
- Carbone, M. E., Pícolo, M. C., & Perillo, M. E. (2003). *CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA DE LA CUENCA DEL ARROYO CLAROMECÓ, ARGENTINA*. 38, 41–60.
- Gallego Gómez, J. L. (2008). Análisis de series temporales. *LADE y LE, I* (Análisis temporal), 111–128.
- García, M. (2018). Protocolo de monitoreo hidrológico en páramos. *Repositorio Institucional de Documentación Científica Humboldt*, 174. <http://repository.humboldt.org.co/handle/20.500.11761/34981>
- García-gonzález, M. L., Carvajal-escobar, Y., & Jiménez-escobar, H. (2011). La gestión integrada de los recursos hídricos como estrategia de adaptación al cambio climático. *Transportation Planning and Technology*, 3(1), 56–58. <https://doi.org/10.1080/03081067508717092>
- Garmendia, A., Salvador, A., Crespo, C., & Garmendia, L. (2005). *Evaluciación De Impacto Ambiental*. <http://www.amvediciones.com/impacto.htm>
- Gualli, L. E. (2022). VALORACIÓN ECONÓMICA Y AMBIENTAL DE LAS MICROCUENCAS DE LOS RÍOS ALAO Y MAGUAZO DE LA PARROQUIA PUNGALÁ, CANTÓN RIOBAMBA, PROVINCIA DE CHIMBORAZO. *Braz Dent J*, 33(1), 1–12.
- Ibáñez, S., Moreno, H., & Gisbert, J. (2010). Morfología de las cuencas hidrográficas. *Universidad Politécnica de Valencia*, 12.
- Játiva Varela, H. S. (2018). Caracterización hidrogeológica de las microcuencas 1, 2 y 3 de la Unidad Hídrica Jatunhuaycu. *Energies*, 6(1), 1–8. <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1120700020921110%0Ahttps://doi.org/10.1016/j.reuma.2018.06.001%0Ahttps://doi.org/10.1016/j.arth.2018.03.044%0Ahttps://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1063458420300078?token=C039B8B13922A2079230DC9AF11A333E295FCD8>
- Julia, F., & Elba, G. (2020). Valoración de servicios ambientales para el ordenamiento agrohidrológico en cuencas hidrográficas. *Valoración de Servicios*

Ambientales Para El Ordenamiento Agrohídrológico En Cuencas Hidrográficas.
<https://doi.org/10.35537/10915/52722>

Mundial, B. (2011). *Diagnóstico de los Recursos Hídricos de la.*

Pacheco Niveló, J. (2014). Análisis de métodos de interpolación geoestadísticos para la estimación espacio-temporal de la precipitación en la cuenca del río Paute. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 85(1), 2071–2079.

Plaza, J. B., & Mas-pla, J. (2008). *Los Recursos Hídricos en el sistema cuenca : Disponibilidad Y Calidad.*

Ramírez, L., & Vallejo, B. (2018). *Influencia de los patrones climáticos globales en la variabilidad del clima en los páramos del Ecuador.*

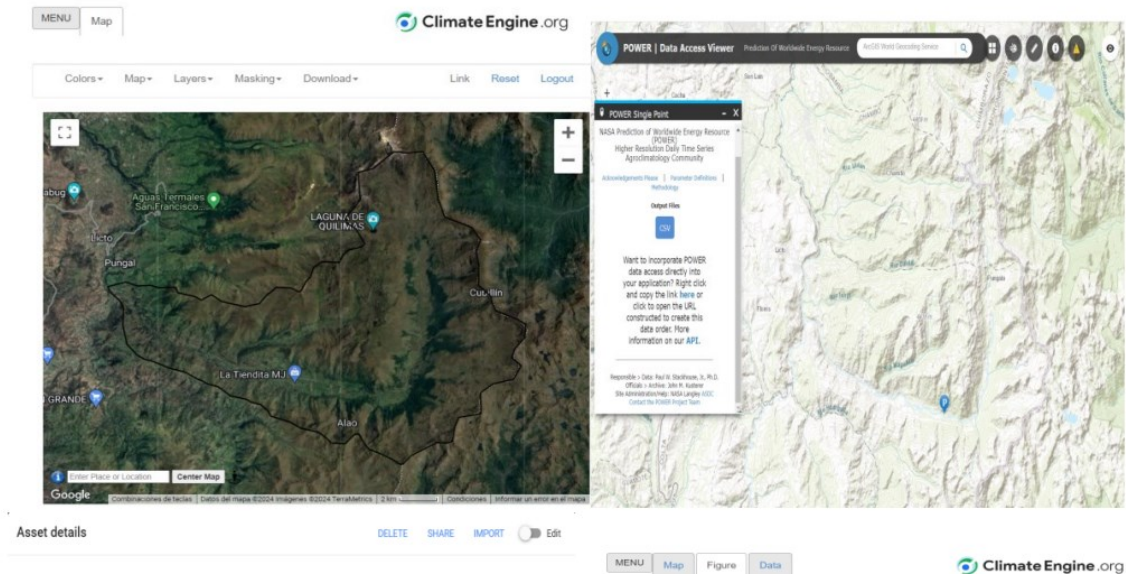
Rodríguez, E. (2019). *Demandas De Los Servicios De Las Cuencas Hidrográficas Y Su Valor Económico.* June. https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Cuadro-de-valores-de-uso-ambientales_fig1_333612242

Romero, E. L., & Casimiro, W. L. (2015). Evaluación de métodos hidrológicos para la completación de datos faltantes de precipitación en estaciones de la cuenca Jetepeque, Perú. *Revista Tecnológica ESPOL – RTE*, 28(3), 42–52.

Suarez, M. (2018). ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA EN EL CANTÓN CHAMBO. *Energies*, 6(1), 1–8.
<http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1120700020921110%0Ahttps://doi.org/10.1016/j.reuma.2018.06.001%0Ahttps://doi.org/10.1016/j.arth.2018.03.044%0Ahttps://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1063458420300078?token=C039B8B13922A2079230DC9AF11A333E295FCD8>

ANEXOS

Anexo 1. Descarga de datos de la plataforma Google Earth Engie



Anexo 2. Datos completos de precipitación de la estación de Alao

(mm) Precipitation (Alao-INAMHI) 1990-01-01 to 2020-12-31														
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total	
1990	62,00	47,90	61,30	83,10	67,40	134,80	74,30	65,80	75,20	102,50	64,40	37,50	876,20	
1991	28,00	54,80	58,90	54,80	95,40	80,30	33,80	63,50	18,80	50,00	68,30	22,70	629,30	
1992	45,30	79,20	96,10	116,10	68,90	57,20	94,40	42,80	75,00	27,70	54,60	24,40	781,70	
1993	49,70	69,30	183,50	107,20	11,60	74,10	130,70	68,90	45,40	78,30	46,30	75,10	940,10	
1994	39,00	100,50	55,00	194,40	131,40	0,00	150,00	53,80	45,00	89,10	124,80	32,50	1015,50	
1995	35,90	32,30	32,60	88,50	76,00	73,80	165,10	48,60	63,60	63,20	84,50	20,20	784,30	
1996	77,70	130,10	70,30	73,90	65,40	54,10	83,50	78,30	62,70	46,80	23,70	24,10	790,60	
1997	27,60	121,50	55,80	92,10	69,40	69,70	68,50	37,10	57,00	31,40	118,60	47,70	796,40	
1998	34,20	69,00	79,40	130,10	82,50	116,90	134,70	74,70	39,90	101,20	20,70	12,20	895,50	
1999	43,20	102,10	98,80	176,60	109,50	125,60	82,90	83,30	101,00	49,40	42,00	106,50	1120,90	
2000	71,20	105,80	78,90	112,70	228,70	108,50	48,70	89,20	91,40	13,10	24,60	93,60	1066,40	
2001	49,30	68,30	88,80	92,60	132,90	115,60	68,20	59,60	89,80	10,60	76,00	46,50	898,20	
2002	34,40	57,60	46,00	128,40	81,40	93,00	65,50	9,20	97,60	126,10	105,00	46,20	890,40	
2003	75,70	48,60	57,60	126,80	86,20	52,80	85,40	21,90	0,70	71,20	88,20	75,20	790,30	
2004	18,10	57,70	100,20	128,20	91,80	66,30	133,70	44,10	38,70	126,80	112,30	59,70	977,60	
2005	24,90	101,60	128,90	124,50	71,30	114,60	37,50	16,50	17,90	68,10	33,50	103,90	843,20	
2006	35,00	53,60	57,10	109,50	50,60	16,20	3,40	19,80	59,80	187,30	103,10	89,20	784,60	
2007	120,40	0,00	152,70	76,20	84,20	188,60	52,50	149,70	72,00	58,00	103,20	99,20	1156,70	
2008	103,50	132,40	84,10	122,90	137,70	138,00	176,30	120,90	132,90	165,50	108,90	27,40	1450,50	
2009	122,60	122,40	106,30	0,00	67,20	119,10	173,50	109,80	39,20	148,30	8,90	68,20	1085,50	
2010	43,30	25,20	126,50	158,50	215,40	219,80	130,10	89,20	93,20	174,70	177,20	215,90	1669,00	
2011	105,30	185,30	86,60	252,80	159,10	219,20	283,70	85,00	144,10	77,20	532,70	201,30	2332,30	
2012	154,20	76,30	96,70	198,60	232,60	94,80	135,40	100,20	95,80	153,50	92,50	71,70	1502,30	
2013	98,70	145,10	105,40	80,60	111,50	78,50	169,20	36,90	95,80	63,00	95,30	21,70	1101,70	
2014	55,50	75,70	90,60	77,80	126,60	61,70	80,80	103,50	90,80	109,90	120,00	36,00	1028,90	
2015	86,30	45,70	144,40	145,80	28,50	127,00	144,80	50,90	72,10	23,90	162,20	35,20	1066,80	
2016	8,00	125,70	43,80	176,30	52,30	4,90	159,90	16,70	143,70	94,90	39,70	72,30	938,20	
2017	25,20	77,90	85,30	67,00	143,60	327,90	16,70	0,00	57,00	125,10	13,20	108,40	1047,30	
2018	58,80	49,40	101,50	121,10	162,40	172,70	75,80	126,80	12,90	144,30	159,80	131,00	1316,50	
2019	53,20	92,50	102,50	79,40	130,30	135,40	63,10	49,80	81,80	73,30	118,80	127,50	1107,60	
2020	85,80	97,40	107,30	106,60	163,00	58,20	293,30	125,10	24,20	62,40	116,80	91,10	1331,20	
Promedio	60,39	82,29	89,77	116,23	107,57	106,43	110,17	65,86	68,87	87,64	98,06	71,75	1065,02	

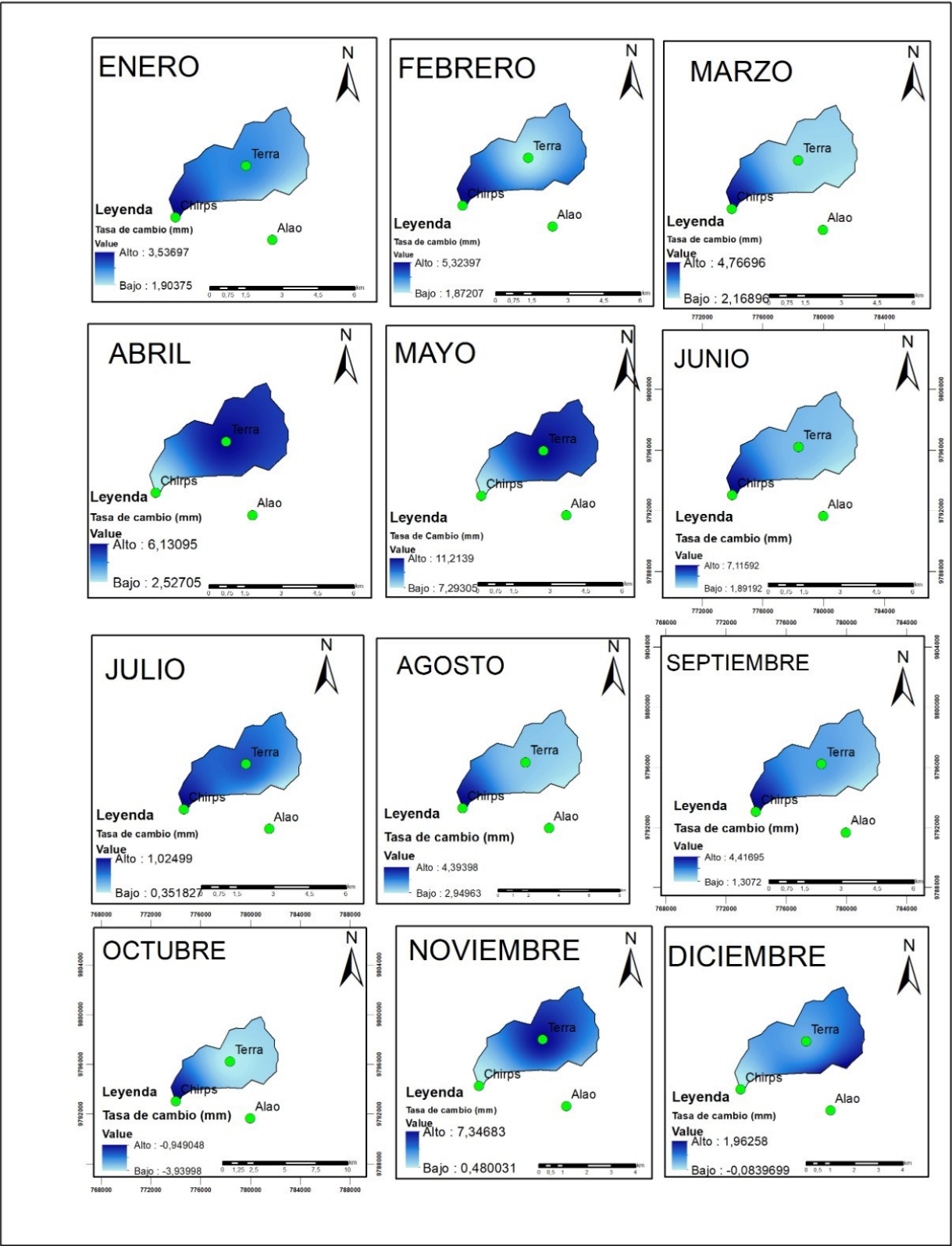
Anexo 3. Datos completos de precipitación de la plataforma TerraClimate

(mm) Precipitation (TerraClimate) at 1, Jan 1990 to Dec 2020													
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
1990	31,73	94,81	49,22	102,15	50,57	84,02	49,29	14,78	111,67	154,12	40,40	36,60	819,36
1991	42,95	90,31	96,18	55,68	92,64	48,79	47,07	23,28	34,23	32,22	112,20	50,65	726,19
1992	48,72	82,58	143,12	218,74	172,48	177,08	238,29	14,78	68,23	28,23	46,40	23,32	1261,97
1993	61,45	150,94	155,90	173,84	82,86	49,78	36,56	21,51	50,73	72,95	49,62	79,98	986,13
1994	96,18	100,81	119,68	106,42	96,91	68,29	52,08	71,08	29,50	119,61	71,07	77,98	1009,62
1995	44,95	67,63	82,45	105,64	77,13	66,29	165,93	35,51	20,73	38,45	161,59	40,38	906,67
1996	57,45	120,26	108,40	103,15	33,06	58,29	104,86	26,28	48,00	91,45	60,35	31,10	842,66
1997	54,72	68,35	162,40	125,15	169,21	267,27	81,86	310,43	63,46	165,85	197,54	67,71	1733,94
1998	89,90	191,11	75,23	148,56	298,63	371,56	247,78	42,79	29,23	63,95	165,26	12,78	1736,78
1999	65,23	162,44	155,40	147,34	137,43	55,29	56,07	51,80	185,92	45,22	54,35	89,04	1205,51
2000	58,22	87,85	112,67	162,89	172,77	88,80	14,78	31,29	87,96	18,73	149,87	40,38	1026,21
2001	92,72	66,13	50,22	158,39	103,14	40,29	57,85	18,28	25,01	14,50	84,07	34,89	745,50
2002	33,73	99,80	138,13	193,06	103,36	38,78	55,07	4,77	18,50	82,68	254,56	66,93	1089,37
2003	63,68	81,35	90,95	109,15	106,42	62,29	426,67	38,52	17,50	261,97	185,48	64,93	1508,92
2004	35,22	53,40	103,18	131,16	118,14	56,29	76,08	12,51	111,18	88,45	46,18	22,83	854,64
2005	33,23	62,63	73,46	158,56	14,52	37,29	48,56	6,78	19,50	35,01	35,68	42,38	567,59
2006	52,72	113,53	127,90	60,19	26,06	63,07	81,08	42,01	71,95	26,23	122,69	26,33	813,76
2007	37,22	53,90	86,68	130,60	77,86	99,07	235,45	57,08	28,01	23,50	123,20	26,33	978,91
2008	70,17	132,31	162,40	134,20	85,86	36,01	133,21	303,11	68,95	89,95	68,58	27,83	1312,60
2009	89,46	68,36	97,18	60,19	75,18	96,34	45,07	42,02	18,50	55,96	29,22	44,65	722,13
2010	42,22	137,98	98,67	174,61	137,92	105,07	287,57	37,29	66,95	22,77	84,02	87,98	1283,07
2011	59,72	112,53	52,96	232,30	55,13	146,81	177,49	26,52	89,23	52,23	89,07	82,76	1176,75
2012	134,41	148,93	128,62	134,88	124,64	78,79	21,78	28,28	27,50	70,73	147,41	39,38	1085,35
2013	58,45	112,53	116,17	100,36	125,71	57,29	71,36	43,80	37,23	116,91	31,17	29,33	900,31
2014	51,45	102,81	93,95	73,19	124,15	97,29	76,63	94,87	119,91	155,85	37,90	25,10	1053,09
2015	64,45	66,85	139,18	140,33	138,98	270,54	251,24	16,51	20,73	183,79	112,96	34,82	1440,39
2016	54,45	71,63	143,40	153,11	58,58	116,03	40,07	20,51	151,18	28,22	62,34	52,42	951,94
2017	90,68	153,71	173,13	197,06	212,28	114,30	33,56	33,52	540,86	122,40	36,91	36,10	1744,50
2018	41,73	91,08	60,95	78,92	76,35	429,00	346,09	41,29	24,73	321,66	227,63	105,63	1845,07
2019	86,14	133,26	121,05	118,60	101,03	167,66	90,54	76,04	86,74	91,90	116,30	73,20	1262,45
2020	68,41	81,91	98,12	143,32	111,32	85,29	126,79	65,84	78,18	64,40	118,65	62,93	1105,16
Promedio	61,67	101,99	110,22	133,28	108,40	113,97	121,83	53,33	75,87	88,38	100,73	49,57	1119,24

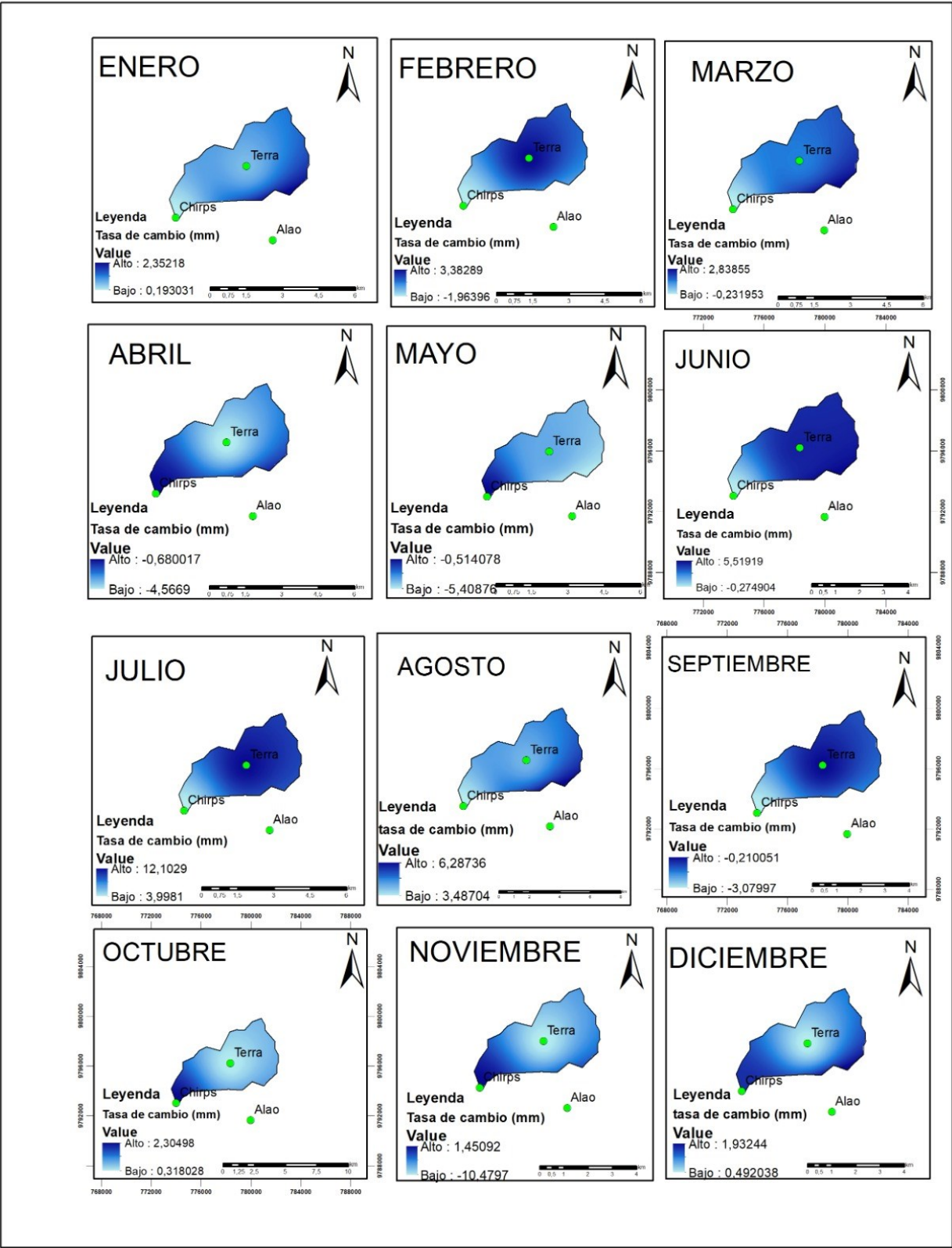
Anexo 4. Datos completos de precipitación de la plataforma Chirps5

(mm) Precipitation (CHIRPS) at 1, 1990-01-01 to 2020-12-31														
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total	
1990	69,66	114,53	73,77	107,48	90,33	58,71	116,26	48,26	56,75	163,29	88,68	73,39	1061,10	
1991	76,79	107,82	168,72	71,96	109,79	106,83	87,00	41,40	66,32	84,08	47,37	51,08	1019,16	
1992	54,24	80,88	90,42	119,38	133,29	139,95	82,27	44,21	88,83	52,47	51,61	78,06	1015,61	
1993	120,12	168,52	163,95	130,41	110,70	97,72	92,85	68,92	62,25	78,25	72,70	123,30	1289,68	
1994	102,20	117,21	115,34	135,31	131,22	116,63	94,07	77,82	80,18	132,77	88,86	94,92	1286,53	
1995	43,04	129,25	131,79	118,89	116,28	121,59	117,82	84,93	61,31	105,65	102,81	73,94	1207,31	
1996	103,57	163,78	152,25	116,05	109,39	174,01	121,04	64,90	59,58	108,61	64,36	70,19	1307,73	
1997	105,67	83,71	122,47	121,78	74,37	184,10	98,80	45,77	91,34	167,92	135,71	108,12	1339,75	
1998	54,97	205,32	147,83	133,22	192,16	116,61	137,18	109,11	73,10	136,31	49,13	60,24	1415,18	
1999	137,36	185,83	156,47	104,19	168,22	155,00	97,48	79,49	290,84	78,12	60,12	164,22	1677,33	
2000	94,59	118,68	142,79	151,15	192,21	156,73	74,75	83,67	123,56	43,73	54,01	59,62	1295,49	
2001	68,08	87,53	114,90	76,99	93,00	85,91	104,76	50,36	96,86	80,42	71,30	63,49	993,59	
2002	64,64	181,61	119,44	155,72	120,79	123,72	82,79	54,18	60,63	122,30	60,51	84,19	1230,51	
2003	88,65	110,68	89,15	81,01	77,21	128,63	99,04	53,60	81,69	109,94	68,20	123,96	1111,75	
2004	73,89	91,30	79,50	120,86	105,40	73,46	91,07	65,18	78,28	115,88	66,94	104,92	1066,68	
2005	56,09	62,77	116,65	94,11	115,85	124,32	136,25	89,57	77,35	113,80	61,98	104,82	1153,57	
2006	89,69	233,77	102,25	117,88	75,51	142,01	101,29	98,82	55,00	147,80	82,50	92,89	1339,41	
2007	83,31	67,55	114,12	121,78	141,06	84,10	114,41	104,18	62,32	91,60	65,00	71,25	1120,69	
2008	62,10	161,12	175,06	114,78	108,30	109,55	137,74	121,95	78,24	113,47	68,72	69,78	1320,82	
2009	147,66	107,08	138,79	123,06	87,18	116,04	80,10	71,46	45,18	97,84	66,10	56,78	1137,28	
2010	58,23	95,20	97,64	110,10	187,24	131,35	123,07	78,09	115,60	113,32	101,01	150,14	1360,98	
2011	113,38	239,42	107,40	193,80	96,11	151,19	142,37	87,77	75,03	141,09	90,91	66,15	1504,61	
2012	123,28	137,04	142,54	165,06	109,05	95,91	82,53	64,51	44,92	122,46	72,57	96,48	1256,35	
2013	80,00	153,22	133,56	74,58	116,20	119,32	124,20	65,02	53,17	110,67	56,92	52,49	1139,35	
2014	61,02	104,45	197,24	90,94	128,29	84,09	71,75	51,85	81,04	125,09	61,61	47,31	1104,69	
2015	77,02	123,21	130,65	93,23	85,09	117,79	81,32	44,50	43,42	101,17	82,60	41,53	1021,53	
2016	63,65	72,32	154,66	173,07	100,35	77,02	82,17	39,95	87,56	65,45	52,87	48,45	1017,51	
2017	163,80	119,50	215,46	125,83	175,82	261,65	90,33	86,86	73,98	60,75	70,75	84,78	1529,52	
2018	69,88	86,89	102,99	121,24	127,24	81,62	72,75	73,00	63,66	137,56	75,51	65,99	1078,31	
2019	133,50	95,93	106,89	100,52	143,67	133,39	74,95	53,44	101,65	120,44	112,32	101,89	1278,57	
2020	125,79	135,88	92,11	124,93	122,71	147,51	199,42	122,49	75,39	76,66	70,72	160,41	1453,99	
Promedio	89,22	127,16	128,93	119,01	120,78	123,11	103,61	71,78	80,81	107,06	73,37	85,32	1230,15	

Anexo 5. Tasa de cambio de precipitación del periodo 1990 al 2000



Anexo 6. Tasa de Cambio de precipitación del periodo 2000 al 2010



Anexo 7. Tasa de Cambio de precipitación del periodo 2010 al 2020

