



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

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

Trabajo de Titulación para optar al Título de Ingeniero Ambiental

Autores:

Choto Morocho, Magaly Anabel
Morales Morocho, Diana Adela

Tutor:

PhD. Iván Alfredo Ríos García

Riobamba, Ecuador. 2024



DECLARATORIA DE AUTORÍA

Nosotras, **Magaly Anabel Choto Morocho** y **Diana Adela Morales Morocho**, con cédula de ciudadanía **0605572825** y **0605401579**, autoras del trabajo de investigación titulado: **Análisis de la Variabilidad Temporal de Precipitación y Temperatura en la Microcuenca del río Alao**, 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, 30 de octubre del 2024.

Magaly Anabel Choto Morocho

C.I.:0605572825

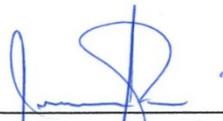
Diana Adela Morales Morocho

C.I: 0605401579



ACTA FAVORABLE - INFORME FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

En la Ciudad de Riobamba, a los 18 días del mes de octubre de 2024, luego de haber revisado el Informe Final del Trabajo de Investigación presentado por el estudiante **Magaly Anabel Choto Morocho** con CC: **0605572825** y **Diana Adela Morales Morocho** con CC: **0605401579**, de la carrera **INGENIERÍA 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 ALAO"**, 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 variabilidad temporal de precipitación y temperatura en la microcuenca del río Alao, presentado por Magaly Anabel Choto Morocho, con cédula de identidad número 0605572825 y Diana Adela Morales Morocho con cédula de identidad número 0605401579, 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 30 días del mes de octubre del 2024

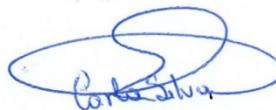
Dra. Mery Manzano Cepeda

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO



Mgs. Carla Silva Padilla

MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Mgs. Patricio Santillán Lima

MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO





Dirección
Académica
VICERRECTORADO ACADÉMICO



UNACH-RGF-01-04-08.17
VERSIÓN 01: 06-09-2021

CERTIFICACIÓN

Qué, **CHOTO MOROCHO MAGALY ANABEL** con CC: **0605572825** y **MORALES MOROCHO DIANA ADELA** con CC: **0605401579**, estudiantes de la carrera de **Ingeniería Ambiental**, Facultad de Ingeniería; ha trabajado bajo mi tutoría del trabajo de investigación titulado “**Análisis de la variabilidad temporal de precipitación y temperatura en la microcuenca del río Alao**”, cumple con el 9% de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **TURNITIN**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 17 de octubre del 2024

PhD. Iván Alfredo Ríos García
TUTOR(A)

DEDICATORIA

Este proyecto es dedicado en primer lugar a Dios por brindarme su infinito amor, quien ha puesto honestidad y humildad en mí, que con su infinita bondad y misericordia permitió cumplir un sueño más en mi vida.

De igual manera, de lo profundo de mi corazón va dedicado a mis padres, María Morocho y Patricio Choto por brindarme su apoyo en mis estudios y a lo largo de mi vida, que a pesar de la distancia sus palabras como, si puedes o a la otra lo vas a hacer mejor, siempre me han acompañado, que por su esfuerzo físico y mental una etapa fue cumplida. También a mis hermanos que siempre han estado con su apoyo con palabras de aliento, a mis abuelos por siempre recordar que debo ser buena persona, que con sus palabras de aliento me han fortalecido y me han entusiasmado en luchar por lo que anhelo.

Finalmente, dedicada a mi mejor amiga Salito, quien me supo acompañar, comprender, animar y ser buena conmigo durante 4 años, hasta que su luz se apagó, besos y abrazos al cielo.

Magaly Anabel Choto Morocho

DEDICATORIA

Mi esfuerzo va dedicada a mis padres Asunción Morocho y Arturo Morales los cuales me motivaron a conseguir mis metas y a pesar de las dificultades que como familia hemos pasado me apoyaron a llegar a este punto de mi vida

También va dedicado a mi Thomas Alessandro, un pequeño ser que llegó a mi vida cuando menos lo esperaba y ha sido la alegría y motivación en mi familia.

A mis hermanas (Elsa, Vane, Helen, Sthefany), mi hermano (Gustavo) que me han impulsado, apoyado y guiado para culminar mis estudios y seguir mis metas. Como no dedicarles a las personas que partieron de este mundo mi tío José, mi abuelito Ignacio y mi hermano Nelson que me han dado fuerza para estar aquí.

Además, quiero dedicar a mi primer amor, mi sobrino Said que ha sido motivación para llegar al fin de mi carrera.

Diana Adela Morales Morocho

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer con todo mi ser a Dios por ser bueno en mi vida, por no dejarme caer en momentos de aflicción, por brindarme inteligencia y sabiduría para afrontar cada obstáculo que se presenta, guiándome por el camino del bien.

De la misma manera agradezco a mis padres por hacer hasta lo imposible para brindarme la educación, que sus sacrificios los llevo en lo más profundo de mi corazón, porque gracias a ellos he forjado un futuro mejor.

A mis hermanos Noemi, Ruth, Ayde y Moisés gracias por cada una de sus palabras y fortalecerme en momentos de debilidad, mostrándome que la vida no es fácil, que hay que esforzarnos en cada momento. A mis abuelos Francisco y Juana gracias por estar presentes en mi vida por abrir la puerta de su hogar y acogernos desde pequeños y apoyarnos en momentos arduos de la vida, no nos han dejado solos. A mis primos y sobrinos gracias por sacarme una sonrisa en la tristeza, por ser la alegría del hogar. Además, gracias a mi compañera de tesis Dianita por su amistad incondicional durante la carrera, por los ánimos en cada momento de estrés, por tu compañía a lo largo de una ardua y dura carrera.

Finalmente, a la Universidad Nacional de Chimborazo que nos abrió sus puertas del saber y cumplir una meta más en la vida, y sobre todo al Ing. Iván Ríos nuestro tutor gracias por la paciencia durante el desarrollo de la investigación compartiéndonos sus valiosos conocimientos.

“Ya te lo he ordenado: ¡Sé fuerte y valiente! ¡No tengas miedo ni te desanimas! Porque el Señor tu Dios te acompañará donde quiera que vayas”.

(Josué 1:9)

Magaly Anabel Choto Morocho

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por haberme dado la fortaleza y perseverancia para ir paso a paso en mi vida universitaria y permitirme estar en este punto, culminando esta grandiosa etapa.

A mis padres que han sido pieza fundamental en mi vida, han estado pendiente de mí en todo este proceso y me han demostrado que con amor, optimismo y esfuerzo puedo cumplir todo lo que anhelo.

A mis hermanas y hermano que me han acompañado e instruido en la vida, siendo cada uno modelo de que con amor y esfuerzo se puede lograr todo lo que se proponga, han sido mi admiración y ejemplo para seguir.

Agradezco a Frank que ha sido alguien importante en mi proceso universitario, quien con sus palabras de aliento y apoyo incondicional me ayudo a confiar en mí mismo para culminar mi proyecto.

A mi querida compañera de tesis, Magy quien ha sido indispensable en la carrera, con la cual hemos pasado buenos y malos momentos en la universidad, agradezco que haya estado conmigo apoyándome y construyendo la bonita amistad que hoy en día tenemos.

A la Universidad Nacional de Chimborazo, Facultad de Ingeniería y a la Carrera de Ingeniería Ambiental por excelente formación y dotarme de conocimiento en el área ambiental para permitirme culminar la carrera.

Agradezco al Dr. Iván Ríos, quien ha estado dispuesto a orientarme en el proyecto además brindarme conocimiento profesional para lograr culminar la investigación.

Diana Adela Morales Morocho

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 18

1. INTRODUCCIÓN 18

1.1 Planteamiento del Problema 19

1.2 Justificación 20

1.3 Objetivos 22

1.3.1 Objetivo General 22

1.3.2 Objetivos Específicos 22

CAPÍTULO II 23

2. MARCO TEÓRICO 23

2.1 Clima 23

2.2 Cambio Climático 23

2.3 Variabilidad Climática 23

2.4 Meteorología 23

2.4.1 Temperatura 24

2.4.2 Precipitación 24

2.5 Google Earth Engine 24

2.6 TerraClimate 24

2.7	Era5.....	25
2.8	Chirps	25
2.9	Nasa Power.....	25
2.10	Software Hidrológico Hydraccess.....	26
2.11	Vector Regional.....	26
2.12	Software Chac	26
2.13	Series Temporales.....	27
CAPÍTULO III		28
3. METODOLOGÍA.....		28
3.1	Tipo de investigación.	28
3.2	Diseño de investigación.....	28
3.3	Descripción y localización de la zona de estudio	29
3.4	Fase 1: Organización de la información de precipitación y temperatura de las estaciones meteorológicas y plataformas satelitales.....	29
3.4.1	Selección las estaciones meteorológicas	29
3.4.2	Obtención de información de plataformas climáticas	30
3.5	Fase 2: Análisis de correlación de las series temporales mensuales de precipitación y temperatura obtenidos en las estaciones meteorológicas y las plataformas satelitales	30
3.5.1	Análisis exploratorio de datos	30
3.5.2	Evaluación de datos faltantes	33
3.5.3	Relleno de datos faltantes	33
3.5.4	Correlación de datos	33
3.5.5	Análisis confirmatorio	34
3.6	Fase 3: Análisis de la variabilidad de precipitación y temperatura en tres subperiodos de 10 años desde 1990-2020, mediante parámetros estadísticos.	36
3.6.1	Cambio en la media	36

CAPÍTULO IV	38
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	38
4.1 Descripción del área de estudio	38
4.1.1 Parámetros morfométricos de la microcuenca.....	39
4.1.2 Características físicas de la microcuenca	40
4.2 Selección de información de precipitación y temperatura.....	43
4.2.1 Agrupación de información de las estaciones meteorológicas	43
4.2.2 Selección de estaciones meteorológicas	44
4.2.3 Obtención de información de las plataformas climáticas	46
4.3 Agrupación del conjunto de datos de precipitación y temperatura	46
4.4 Análisis exploratorio de datos	48
4.4.1 Estadísticos descriptivos de precipitación.	48
4.4.2 Estadístico descriptivo de temperatura	55
4.5 Análisis de la precipitación.....	57
4.5.1 Método de vector regional (MVR)	57
4.6 Relleno y extensión de la información pluviométrica	60
4.6.1 Vector regional mensual de la microcuenca del río Alao.....	62
4.7 Validación de datos	64
4.8 Análisis de homogeneidad y estacionariedad.....	66
4.8.1 Cambio en la media	66
CAPÍTULO V	79
5. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES	79
5.1 CONCLUSIONES.....	79
5.2 RECOMENDACIONES	80
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	81
ANEXOS	84

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Estaciones meteorológicas</i>	29
Tabla 2. <i>Parámetros estadísticos</i>	31
Tabla 3. <i>Parámetros morfométricos de la microcuenca del río Alao</i>	39
Tabla 4. <i>Características físicas de la microcuenca</i>	43
Tabla 5. <i>Distancia de las estaciones meteorológicas</i>	44
Tabla 6. <i>Agrupación de datos de precipitación</i>	47
Tabla 7. <i>Análisis estadístico descriptivo de datos de precipitación de la estación de Alao</i>	50
Tabla 8. <i>Análisis estadístico descriptivo de precipitación de la plataforma Chirps</i>	51
Tabla 9. <i>Análisis estadístico descriptivo de precipitación de la plataforma TerraClimate</i>	52
Tabla 10. <i>Análisis descriptivo de temperatura de la plataforma TerraClimate</i>	56
Tabla 11. <i>Correlación anual del vector y las plataformas satelitales</i>	57
Tabla 12. <i>Correlación mensual de enero a abril</i>	58
Tabla 13. <i>Correlación mensual de mayo a agosto</i>	59
Tabla 14. <i>Correlación mensual de septiembre a diciembre</i>	59
Tabla 15. <i>Correlación anual del vector y de las estaciones de los datos rellenados</i>	62
Tabla 16. <i>Índice de correlación del primer grupo mensual</i>	62
Tabla 17. <i>Índice de correlación del segundo grupo mensual</i>	63
Tabla 18. <i>Índice de correlación del tercer grupo mensual</i>	63
Tabla 19. <i>Correlación Pearson de los datos mensuales de precipitación</i>	64
Tabla 20. <i>Resultados de la evaluación estadística del conjunto de datos</i>	65
Tabla 21. <i>Prueba de Mann Kendall para 1990 al 2020</i>	68
Tabla 22. <i>Tendencia de Mann Kendall para 1990 al 2000</i>	69
Tabla 23. <i>Tendencia de Mann Kendall para 2000 al 2010</i>	71
Tabla 24. <i>Tendencia de Mann Kendall para 2010 al 2020</i>	72

Tabla 25. <i>Análisis de tasa de cambio de precipitación del periodo del 1990 al 2020</i>	74
Tabla 26. <i>Tendencia de Mann Kendall para 1990 al 2020</i>	75
Tabla 27. <i>Tendencia Mann Kendall para 2000 al 2010</i>	76
Tabla 28. <i>Tendencia de Mann Kendall para 2010 al 2020</i>	76
Tabla 29. <i>Análisis de tasa de cambio de temperatura de 1990 al 2020</i>	78

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Mapa de ubicación política de la microcuenca del río Alao</i>	38
Figura 2. <i>Mapa de ubicación geográfica de la microcuenca del río Alao</i>	39
Figura 3. <i>Curva hipsométrica de la microcuenca del río Alao</i>	40
Figura 4. <i>Mapa de cobertura geológica de la microcuenca del río Alao</i>	41
Figura 5. <i>Mapa de cobertura y uso de suelo de la microcuenca del río Alao</i>	42
Figura 6. <i>Mapa de textura del suelo de la microcuenca del río Alao</i>	42
Figura 7. <i>Estaciones meteorológicas disponibles en la microcuenca</i>	44
Figura 8. <i>Disponibilidad de información pluviométrica de las diferentes estaciones</i>	45
Figura 9. <i>Dendrograma, método de Ward para el conjunto de precipitaciones</i>	47
Figura 10. <i>Mapa de ubicación de las plataformas satelitales</i>	48
Figura 11. <i>Diagrama de caja de los datos de precipitación de 1990 al 2013</i>	53
Figura 12. <i>Histogramas de normalidad del conjunto de datos</i>	54
Figura 13. <i>Índices anuales del vector regional de la microcuenca Alao de 1990 al 2013</i>	58
Figura 14. <i>Cronograma de los datos faltantes de la estación meteorológica</i>	60
Figura 15. <i>Serie de datos de precipitación de 1990 al 2020</i>	60
Figura 16. <i>Índices anuales de vector y las estaciones de 1990 al 2020</i>	61
Figura 17. <i>Dispersión de la precipitación de la plataforma Chirps</i>	65
Figura 18. <i>Dispersión de la precipitación de la plataforma TerraClimate</i>	65

Figura 19. <i>Serie temporal de los 3 subperiodos de la estación de Alao</i>	66
Figura 20. <i>Serie temporal del mes de mayo de 1990 al 2020</i>	67
Figura 21. <i>Serie temporal del mes de junio de 1990 al 2020</i>	67
Figura 22. <i>Serie temporal anual de la tendencia de Mann Kendal</i>	68
Figura 23. <i>Tasa de cambio de precipitación del mes de junio</i>	70
Figura 24. <i>Tasa de cambio de precipitación del mes de agosto</i>	70
Figura 25. <i>Serie temporal mensual de la tendencia de Mann Kendal durante 1990 al 2000</i>	70
Figura 26. <i>Tasa de cambio de precipitación mes de octubre</i>	71
Figura 27. <i>Serie temporal tendencia de Mann Kendal del mes de octubre de 2000 al 2010</i>	72
Figura 28. <i>Tasa de cambio de precipitación del mes de septiembre</i>	73
Figura 29. <i>Serie temporal tendencia de Mann Kendal del mes de septiembre de 2010 al 2020</i>	73
Figura 30. <i>Serie temporal tendencia de Mann Kendal mensual de 1990 al 2000</i>	75
Figura 31. <i>Serie temporal tendencia de Mann Kendal mensual de 1990 al 2020</i>	76
Figura 32. <i>Serie temporal tendencia de Mann Kendal mensual de 2010 al 2020</i>	77

RESUMEN

Esta investigación analiza la variabilidad temporal de precipitación y temperatura entre 1990 y 2020, parte con la etapa de recopilación de datos de estaciones meteorológicas hasta el 2013. Durante el análisis de selección, la estación de Alao cumplió con los criterios requeridos. Mientras que, para cubrir el periodo hasta el 2020 se utilizaron datos satelitales de Google Earth Engine, específicamente de TerraClimate y Chirps, lo que permitió el relleno de datos mediante el programa Chac.

Después se llevó a cabo la validación de estos datos utilizando la correlación de Pearson y estadísticos como el MAPE, RMSE y PBIAS, los resultados indicaron una correlación moderada a buena precisión de datos, proporcionando fiabilidad para el análisis de variabilidad temporal de precipitación y temperatura en la base de datos.

Por último, se realizó el análisis de variabilidad mediante pruebas estadísticas no paramétricas como Pettit y el coeficiente de Mann Kendall, con las cuales se detectaron cambios o rupturas en las series temporales, de la misma manera, la magnitud de las tendencias de cambio evaluado con el estimador de pendiente de Sen.

Los resultados mostraron que, en el subperiodo de 2010 al 2020 la precipitación ha disminuido, por ende, se evidencia un aumento de temperatura. Esta situación es preocupante, ya que podría afectar la disponibilidad de agua, lo que representa una disminución en la oferta hídrica de la microcuenca del río Alao, impactando directamente en la generación de energía de la parroquia y en el caudal de la subcuenca del río Chambo.

Palabras claves: plataformas satelitales, estaciones meteorológicas, temperatura, precipitación, variabilidad temporal, tendencias de cambio.

ABSTRACT

The current research examines the temporal variability of precipitation and temperature from 1990 to 2020, beginning with data collection from meteorological stations up to 2013. During the selection process, the Alao station met the necessary criteria. To extend the analysis through 2020, satellite data from Google Earth Engine, specifically TerraClimate and Chirps, were utilized, enabling data completion with the Chac program. The validation of these datasets was performed using Pearson correlation, along with statistical metrics such as MAPE, RMSE, and PBIAS. The results revealed a moderate correlation and good data accuracy, confirming the reliability of the analysis regarding temporal variability in precipitation and temperature.

Subsequently, variability was analyzed using non-parametric statistical tests, including the Pettit test and the Mann-Kendall coefficient, which identified changes or breaks in the time series. The magnitude of change trends was assessed using the Sen slope estimator. The findings indicated a decrease in precipitation from 2010 to 2020, accompanied by a rise in temperature. This trend raises concerns about water availability, potentially diminishing the water supply of the Alao River micro-basin. Such changes could directly impact the parish's energy generation and the flow of the Chambo River sub-basin.

Keywords: satellite platforms, meteorological stations, temperature, precipitation, temporal variability, change trends.

Reviewed by

ADRIANA
XIMENA
CUNDAR
RUANO

Firmado
digitalmente por
ADRIANA XIMENA
CUNDAR RUANO
Fecha: 2024.10.23
09:34:04 -05'00'

MsC. Adriana Ximena Cundar Ruano

ENGLISH PROFESSOR

C.C. 1709268534

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

El cambio climático se refiere a modificaciones significativas de los parámetros del clima, lo que ocasiona alteraciones de los ciclos naturales de la tierra, varios estudios coinciden que, a causa de esto el aumento de la temperatura global trae consigo mayor variabilidad climática y esto genera cambios en el ciclo hidrológico lo que tiene repercusiones en la cantidad de precipitaciones (La Riva, 2020).

La Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) y la Oficina Española del Cambio Climático (OECC), establecen que, es indiscutible que las actividades humanas están causando cambios en el clima, lo que han ocasionado eventos extremos más frecuentes y severos tales como, olas de calor, lluvias torrenciales y sequías, esto contribuyendo a la variabilidad climática en diferentes partes del planeta (AEMET & OECC, 2021).

El estudio de la variabilidad climática es de gran importancia debido a que tiene un impacto directo en la gestión del recurso hídrico destinado al consumo humano, al riego agrícola y a la generación de energía eléctrica a escala de cuencas hidrográficas. A nivel local, los efectos de la variabilidad climática tienen impactos significativos en la infraestructura y servicios urbanos, lo que afecta a las actividades socioeconómicas que allí se desarrollan (Barreiro et al., 2021).

Actualmente, las agendas ambientales resaltan la importancia de analizar la variabilidad climática y su relación con aspectos como las “desigualdades en el acceso, calidad del agua potable, saneamiento, eficiencia en el uso del agua, así como la contaminación y la sobreexplotación de ríos y lagos” (Matus et al., 2020).

En este contexto, se requiere profundizar las investigaciones sobre las alteraciones en el régimen temporal de precipitación para mejorar las estrategias de gestión de los recursos hídricos a nivel de microcuenca hidrográfica. En Ecuador, el Ministerio del Ambiente y Agua (MAE) menciona que, las alteraciones climáticas en el país están contribuyendo al aumento de eventos climáticos extremos. Esto afectará negativamente al ecosistema y a la distribución espacial y temporal de las precipitaciones, además de intensificar las sequías y reducir tanto la cantidad como la calidad del agua (MAE, 2019).

Sumado a esto se ha observado que el país ha sufrido cambios significativos en las condiciones climáticas, debido a su posición geográfica el país tiene diversidad de zonas climáticas, aunque se distinguen principalmente dos estaciones una lluviosa y otra seca, las mismas que se ven acentuadas por alteraciones en el ambiente, principalmente causadas por actividades humanas. Viéndose reflejada en la región central de la sierra del país, que en los últimos años se ha registrado un aumento notable de la temperatura promedio que fluctúa entre los 12 a 14 °C (Pérez et al., 2020).

En el estudio titulado “Escenario de cambio climático a nivel de subcuencas hidrográficas para el año 2050 de la provincia de Chimborazo” realizados por Bustamante (2017), menciona que, en la provincia de Chimborazo para ese año existirá un incremento de temperatura anual mayor que 2,4 °C y disminuciones considerables en cuanto a precipitaciones, por lo que podrían afectar al ecosistema, agricultura y disponibilidad del agua de las subcuencas del río Namangoza, río Patate y río Chambo.

La microcuenca del río Alao, ubicada en la parroquia Pungalá, provincia de Chimborazo, desempeña un papel fundamental en el paisaje hidrológico de la región, es vital para el abastecimiento de agua potable para la ciudad de Riobamba, así como para proporcionar agua de riego a las comunidades locales y de energía hidroeléctrica para la zona. El objetivo del presente estudio es analizar la variabilidad temporal de precipitación y temperatura en la microcuenca del río Alao para el periodo 1990 al 2020.

1.1 Planteamiento del Problema

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático por sus siglas en inglés IPCC, describe la variabilidad climática como un fenómeno de origen natural, sin embargo, durante las últimas décadas ha surgido cambio significativo y constante en las condiciones atmosféricas habituales, un cambio que se atribuye en gran medida al impacto directo o indirecto de las actividades humanas y a las emisiones de gases de efecto invernadero. A este fenómeno se le conoce como cambio climático y en la actualidad varias instituciones desarrollan conocimientos sobre posible información futura del clima para distintas regiones del mundo (IPCC,2021).

El Ministerio del Ambiente Agua y Transición Ecológica (MAATE) estima que, en Ecuador habrá áreas que serán más susceptibles al exceso y otras a la escasez de

precipitaciones. Esto afectará la producción agropecuaria, la disponibilidad de agua para consumo humano, la generación de energía hidroeléctrica y la condición de los ecosistemas (MAATE, 2023).

La microcuenca del río Alao, presenta características climáticas particulares que se distinguen por su altitud y ubicación geográfica. A nivel de microcuenca no existen estudios puntuales de la variabilidad de los patrones de precipitación y temperatura. Algunos estudios realizados en la provincia de Chimborazo señalan que las comunidades locales enfrentaran efectos negativos debido al incremento de temperatura y disminución de lluvias, esto representaran mayores tasas de evapotranspiración en los cultivos (GADPCH, 2014).

El recurso hídrico del río Alao es destinado a la generación de energía hidroeléctrica, suministro de agua potable al cantón Riobamba, producción agropecuaria y para satisfacer las necesidades de las comunidades de la parroquia Pungalá. Sin embargo, en la microcuenca se observa la ausencia de información sobre la variabilidad temporal de los patrones climáticos, esta carencia dificulta la identificación de garantías de disponibilidad del recurso hídrico a corto, mediano y largo plazo.

La Empresa Eléctrica Riobamba, la Empresa de Agua Potable y Alcantarillado (EMAPAR), junto con el Gobierno Parroquial de Pungalá, dedican recursos técnicos y financieros para llevar a cabo planes y programas destinados a proteger y preservar el agua en la microcuenca del río Alao. Esta dedicación evidencia la necesidad de realizar un estudio sobre la variabilidad temporal de la precipitación y temperatura, que busca ofrecer una comprensión profunda de estos patrones climáticos, sentando así las bases para tomar decisiones informadas en la gestión y conservación de los recursos hídricos a nivel de la microcuenca hidrográfica.

1.2 Justificación

Desarrollar un estudio destinado a detectar las tendencias y cambios en series hidrometeorológicas tiene como finalidad proporcionar datos actualizados sobre el impacto que tienen las actividades humanas y naturales sobre los sistemas de recursos hídricos.

El análisis de la variabilidad temporal de precipitación y temperatura en la microcuenca del río Alao, permitirá estructurar la información proveniente de las estaciones

meteorológicas a lo largo de un período de estudio. Para complementar esta información, se utilizarán datos obtenidos de plataformas satélites con el fin de respaldar el análisis de datos recopilados en tierra.

Los datos de precipitación y temperatura, una vez organizados y depurados, se utilizarán para la construcción de una base de datos histórica. Esta base de datos será fundamental para respaldar el desarrollo de futuros estudios hidrológicos, permitiendo identificar la relación y correlación entre estas variables, en el contexto de variabilidad y cambio climático.

Finalmente, contar con una evaluación de la variabilidad climática en un período de 30 años (1990 al 2020), tanto en términos de precipitación y temperatura total como en series mensuales, será importante para identificar las fluctuaciones ocurridas durante el período estudiado. Esta información es fundamental para detectar posibles eventos extremos como inundaciones o sequías, que representan un alto riesgo para los suministros y la disponibilidad del recurso hídrico de la microcuenca.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General.

Analizar la variabilidad temporal de precipitación y temperatura en la microcuenca del río Alao para el periodo 1990-2020

1.3.2 Objetivos Específicos.

- Organizar la información de precipitación y temperatura de las estaciones meteorológicas y las imágenes satelitales para la microcuenca del río Alao.
- Realizar un análisis de correlación de las series temporales mensuales de precipitación y temperatura obtenidos en las estaciones meteorológicas y las imágenes satelitales.
- Analizar la variabilidad de precipitación y temperatura en tres subperiodos de 10 años desde 1990-2020, mediante los parámetros estadísticos.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.

2.1 Clima

El clima es el estado promedio del tiempo el cual es resultado de un conjunto de complejas interacciones de diferentes factores atmosféricos, biofísicos y geográficos que pueden modificarse en tiempo y espacio, en periodos que pueden abarcar desde meses hasta miles de millones de años (IPCC, 2014).

2.2 Cambio Climático

Es el cambio de patrones climático que persiste durante un periodo prolongado, normalmente decenios o siglos, que se deben tanto a procesos naturales internos como a forzamientos externos tales como modulaciones de los ciclos solares, erupciones volcánicas o alteraciones antrópicas que modifican de manera persistente la composición atmosférica por el desarrollo de diferentes actividades (Carvajal y Mina, 2018).

2.3 Variabilidad Climática

La variabilidad climática se refiere a los cambios naturales que experimenta la atmósfera en términos de tiempo y espacio en diferentes años, incluyendo fluctuaciones en la temperatura y la precipitación. Estos cambios pueden ser el resultado de una serie de factores como la actividad solar, las corrientes oceánicas y fenómenos climáticos como el Niño y La Niña. Además, está estrechamente vinculada al cambio climático causado por actividades humanas, lo que aumenta la frecuencia de eventos climáticos extremos en una región a lo largo del tiempo. (IPCC, 2014).

2.4 Meteorología

Ciencia que estudia las condiciones atmosféricas, referente a las características de la atmósfera en un tiempo y lugar específico además de los cambios de los factores climáticos (temperatura, precipitación, humedad, entre otros factores) a lo largo del tiempo, su conocimiento es de importancia ya que ayuda a comprender el tiempo actual y predecir eventos meteorológicos en un futuro (Lozano, 2018).

2.4.1 Temperatura

Es una unidad fundamental del clima y mide la energía térmica del aire, indicando que tan caliente o frío se encuentra un lugar en un momento específico. Este fenómeno puede variar temporal y espacialmente en diferentes áreas. La temperatura del aire es fundamental para describir las condiciones climáticas y atmosféricas de una región en un momento determinado (Gámez, 2020)

2.4.2 Precipitación

La precipitación es una variable esencial en el ciclo hidrológico, se refiere a la caída de diversas formas de agua, como lluvia o nieve, sobre la superficie terrestre. Este proceso es crucial para la disponibilidad de agua en el planeta, siendo vital para la sostenibilidad del medio ambiente y el bienestar humano (Mesa & Peñaranda, 2015), por lo que su análisis y pronóstico a escala espacio temporal es vital en la adaptación de eventos climáticos extremos y al cambio climático (Shi et al., 2016).

2.5 Google Earth Engine.

Google Earth Engine constituye una plataforma especializada en el análisis geoespacial que permite la visualización y estudio de imágenes satelitales de la Tierra. “Esta herramienta hace uso de comandos y funciones preestablecidas, dichas funciones no pueden modificarse, además que permite el uso de los datos en formatos ráster o vectorial” empleada por científicos y establecimientos para llevar a cabo investigaciones de diferentes áreas como teledetección, predicción de brotes de enfermedades, gestión de recursos naturales, monitorizar cuerpos de agua y realizar análisis de variabilidad climática, entre otras aplicaciones (Perilla & François, 2020).

2.6 TerraClimate

Plataforma que proporciona información de las condiciones meteorológicas a partir de datos mensuales de 1985 al 2020, estos son contribuciones importantes para los diferentes estudios ecológicos e hidrológicos (Abatzoglou et al., 2018). Las variables climáticas que la plataforma facilita son datos de temperatura máxima y mínima, presión de vapor, precipitación, radiación, velocidad del viento, evapotranspiración, escorrentía, déficit del agua y humedad del suelo, estos provenientes de estaciones incluidas en la base de datos de

la Red Global de Climatología Histórica, TerraClimate valida estos datos utilizando métodos como el coeficiente de Pearson, el error absoluto y el sesgo, realizando esta validación para cada estación (Hersbach et al., 2018).

2.7 Era5

Era5 es una versión mejorada de Era-Interim, los datos ofrecidos por esta plataforma se encuentran desde 1950 hasta la actualidad, la cual “estima sucesiones globales horarias de variables atmosféricas con una resolución aproximadamente de 80 km y combinación de datos global”(Bell et al., 2021) . Se fundamenta en la asimilación de datos que implica la combinación de datos existentes con un pronóstico previo y observaciones cada hora de variables ambientadas (precipitación, temperatura, humedad, radiación entre otras), este proceso se realiza para generar una estimación del tiempo preciso (Hersbach et al., 2020).

2.8 Chirps

Precipitación por Infrarrojo del Grupo de Riesgos Climáticos con Datos de Estaciones por sus siglas en ingles Chirps, fue diseñado y ejecutado con un sistema global de alta resolución para estimar de mejor manera los datos diarios principalmente de precipitación, existen datos desde 1981 hasta la actualidad. “Chirps estima valores de precipitación a partir la combinación de conjunto de datos satelitales y de estaciones meteorológicas terrestres”(Funk et al., 2015, p. 2). Esto principalmente usado para predecir eventos extremos y con ello llegar a gestiones de los recursos naturales en regiones vulnerables.

2.9 Nasa Power

El proyecto de predicción de los recursos energéticos mundiales (POWER), creado por la Nasa, proporciona acceso a una extensa gama de conjuntos de datos relacionados con la radiación solar y las condiciones meteorológica. Esta plataforma permite extraer datos meteorológicos desde el año 1821 hasta la actualidad, la misma que recopila información de fuentes como datos medidos directamente, satelitales, sondas de viento y derivados de sistemas de datos asimilados. Las variables proporcionadas son: datos diarios de temperatura, velocidad del viento, humedad relativa, precipitación y radiación solar (Smith, 2024).

2.10 Software Hidrológico Hydraccess

Programa especializado para la gestión y análisis de datos hidrológicos de manera eficiente a nivel de microcuencas hasta grandes ríos. Este programa puede manejar datos como series temporales, caudales obtenidos por medición directa, información historial de las estaciones y cotas de ceros de escalas en nivelación general, lo cual ayuda a la gestión de datos hidrológicos y la planificación de infraestructuras hidráulicas (Rodríguez, 2020).

2.11 Vector Regional

Método usado en hidrología para analizar patrones espaciales y temporales dentro de una región, esto consiste en “crear una estación ficticia (vector regional) con datos de las estaciones de la zona, permitiendo que el vector se compare con cada estación utilizada”, para ello este método emplea 3 tareas específicas: la crítica de datos, homogenización y la extensión – relleno de los datos (Espinosa et al., 2009). Los principales beneficios que ofrece este método son, permite disponer de una base de datos de calidad indispensable para una evaluación correcta de los recursos hídricos, también concede un mejor desarrollo a los trabajos de datos mensual obteniendo series homogéneas indispensables para los modelos hidro-pluviométricos de simulación de una cuenca, así mismo brinda elementos que permite mejorar la red de observación de los datos de variables, además despliega métodos de visualización de campos pluviométricos estableciendo por diversas tendencias climáticas y posibilita la utilización de los vectores regionales como trazadores importantes de las fluctuaciones climáticas (Hiez & Rancan, 1983).

2.12 Software Chac

Programa desarrollado por el Centro de Estudios Hidrográficos del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), el cual proporciona una herramienta útil para el desarrollo de trabajos hidrológico, esto incluye el dibujo de serie temporales, el completado de datos, ponderación de series LEMA, leyes de frecuencia, cálculo de aportaciones y la simulación de crecidas (CEDEX, 2021).

2.13 Series Temporales

Según Villagarcía, (2018) menciona que, “las series temporales es una técnica ordenada en el tiempo de valores de una variable (precipitación y temperatura) “. Estas series temporales consiste en el análisis de variable climáticas, con el objetivo entender cómo evoluciona en el tiempo los datos de las variables climáticas, con el fin de ejecutar predicciones y las relaciones presentes entre una o más de ellas.

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA.

3.1 Tipo de investigación.

Investigación descriptiva

El presente trabajo de investigación es de tipo descriptivo, porque tiene como propósito analizar los datos de precipitación y temperatura recopilados de estaciones meteorológicas y plataformas de datos climáticos. El objetivo principal es ofrecer una descripción detallada y un análisis exhaustivo de la variabilidad climática en la microcuenca del río Alao. Para ello, se realizará una caracterización de los patrones de precipitación y temperatura durante el período de 1990 al 2020, utilizando herramientas analíticas y métodos estadísticos. Este enfoque permitirá una comprensión precisa de los fenómenos climáticos que afectan a la microcuenca, estableciendo así las bases para la toma de decisiones en la gestión y conservación de los recursos hídricos a nivel de microcuenca hidrográfica.

3.2 Diseño de investigación

Diseño longitudinal

Esta investigación se ha diseñado longitudinalmente, porque implica la recopilación de datos similares a lo largo de un tiempo prolongado. Este diseño permitirá observar cómo cambian las variables de precipitación y temperatura en la microcuenca del río Alao durante tres subperíodos de diez años cada uno. Los datos recopilados proporcionan una visión detallada de las tendencias climáticas en la microcuenca. Además, este diseño longitudinal nos permite evaluar la existencia de cambios significativos en el clima de la microcuenca del río Alao a lo largo de los años.

Diseño correlacional

El diseño correlacional nos permitió examinar las relaciones entre variables climáticas, tales como la precipitación y la temperatura, en la microcuenca del río Alao. Al identificar correlaciones significativas entre variables climáticas, podremos determinar a futuro posibles predictores del clima en la zona. Esta información es de utilidad para desarrollar modelos climáticos y comprender cómo los patrones históricos de precipitación se ven afectados por aumento o disminución de la temperatura a nivel local.

3.3 Descripción y localización de la zona de estudio

La investigación se desarrolló en la microcuenca del río Alao, ubicada en el nororiente de la provincia de Chimborazo, específicamente en la parroquia Pungalá del cantón Riobamba. La descripción y localización de la zona de estudio se fundamentó en el análisis de información existente y mapas temáticos, los cuales proporcionaron detalles sobre el relieve, la hidrografía y otros elementos del paisaje relevantes para el estudio. Para delimitar la extensión de la microcuenca del río Alao y sus principales drenajes se emplearon modelos de elevación digital y datos cartográficos. Asimismo, se analizaron las características morfométricas de la microcuenca utilizando el programa de información geográfica ArcGIS 10.8. El análisis permitió comprender cómo el clima afecta las características de forma, relieve y sistemas de drenaje de la microcuenca.

Para el análisis de variabilidad climática se llevó a cabo a través de procesos que abarcaron las siguientes fases:

3.4 Fase 1: Organización de la información de precipitación y temperatura de las estaciones meteorológicas y plataformas satelitales

3.4.1 Selección las estaciones meteorológicas

Para la selección de las estaciones meteorológicas presentadas en la tabla 1, se tomó en cuenta criterios como, la distancia, la ubicación y disponibilidad de datos de precipitación y temperatura para el período de estudio.

Tabla 1. *Estaciones meteorológicas*

Estación	Código	Altitud (msnm)	X	Y
Alao	M0396	3200	779982,2	9791632,1
Licto	M0407	2840	767006,7	9800254,9
Cebadas	M0395	2930	762446,1	9788952,5
Guaslán	M0133	2850	760215,6	9809636,1
Guamote	M0134	2856	763041,00	9792124,0

Los datos de precipitación y temperatura se obtuvieron de los registros mensuales de las estaciones meteorológicas del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), disponibles para el periodo de 1990 al 2013.

3.4.2 Obtención de información de plataformas climáticas

Utilizando herramientas GIS se delimitó la microcuenca del río Alao, con el fin de restringir el conjunto de datos de precipitación y temperatura en el área. Posteriormente, se importó el archivo de la microcuenca a la plataforma Google Earth Engine del cual se extrajeron los datos de precipitación y temperatura de las plataformas **TerraClimate**, **Chirps**, **Era5** y **Nasa Power**, brindando registros continuos de las variables climáticas estudiadas desde 1990 hasta 2020.

De la misma manera, para la selección del conjunto de datos de diferente fuente se aplicó el método de Ward con el cual relaciona la base que contenga similitud de datos, con la que contenga mayor similitud con los datos registrados en tierras serán seleccionadas.

Esta información se organizó en hojas de cálculo (Excel), necesarios para llevar a cabo los estadísticos descriptivos y el análisis exploratorio de datos de manera adecuada. Además, se adaptó a la estructura requerida por los programas informáticos utilizados para realizar las pruebas estadísticas confirmatorias, el análisis de tendencias y la evaluación de hipótesis.

3.5 Fase 2: Análisis de correlación de las series temporales mensuales de precipitación y temperatura obtenidos en las estaciones meteorológicas y las plataformas satelitales

3.5.1 Análisis exploratorio de datos

El análisis exploratorio está dividido por los estadísticos descriptivos, el análisis gráfico, la estimación de datos faltantes y el análisis confirmatorio.

Estadísticos Descriptivos.

Se proponen parámetros estadísticos para caracterizar la forma y distribución de los datos de temperatura y precipitación descritos 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.	$\bar{Z} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n Zi \quad (1)$ <p>Donde:</p> <p>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.</p>
Varianza	Con este parámetro se midió la dispersión y variabilidad de los datos. Representa el segundo momento respecto a la media y brindó información acerca de la amplitud de la distribución.	$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{t=1}^n (Zi - \bar{Z})^2 \quad (2)$ <p>Donde:</p> <p>S² la varianza muestral; 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.</p>

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.

$$C_v = \frac{De}{\bar{z}} \quad (4)$$

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)

Además, en el estudio se usó diversas herramientas, como gráficas, series de tiempo, diagramas de cajas, gráficas de doble masa y gráficas de normalidad. Estas herramientas permitieron detectar tendencias y cambios en la consistencia de las series de precipitación y temperatura durante el período de estudio.

3.5.2 Evaluación de datos faltantes

Método del vector regional

Para generar el vector regional se utilizó el programa Hydraccess, para ello se usaron datos de la estación seleccionada y de las plataformas satelitales, este método proporcionó información resumida en hojas de cálculo (Excel), fue necesario para discernir y analizar la calidad de datos de precipitación y temperatura a través de la correlación entre el conjunto de datos obtenida (estación meteorológica y plataformas satelitales) y el vector.

3.5.3 Relleno de datos faltantes

El proceso del relleno de datos faltantes de la estación meteorológica se llevó a cabo mediante los datos de precipitación obtenidos de las plataformas satelitales, para ello se utilizó el programa informático Chac (Cálculo Hidrometeorológico de Aportaciones y Crecidas), del cual se obtuvo un relleno de 7 años, desde 2013 hasta el 2020.

3.5.4 Correlación de datos

Para la comparación de los registros estimados, se aplicó la siguiente prueba estadística:

Coefficiente de correlación de Pearson

La correlación se llevó a cabo utilizando los datos de las estaciones meteorológicas en comparación con los datos satelitales. Esto permitió evaluar la precisión del pronóstico de los datos satelitales en comparación con los valores medidos de las estaciones. Esto se logró mediante el análisis del coeficiente de correlación, el cual se representa mediante 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

- 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 usó para la validación los datos de precipitación, para evaluar la precisión de modelos predictivos, destacando aquellos modelos que ofrecen mayor exactitud y fiabilidad, para lo cual se usó los registros de las plataformas satelitales, para ello se empleó el error porcentual absoluto, error cuadrático medio y porcentaje de sesgo, este cálculo fue desarrollado en el programa Trend, estos parámetros estadísticos son descritos a continuación.

Error porcentual absoluto medio (MAPE)

Esta medida estadística se usó para validar el modelo de precisión de los datos de precipitación obtenidos de las plataformas, asegurando así la precisión entre los conjuntos de datos. Además, su fácil interpretación, revela que los valores bajos indican una proximidad entre los valores predichos y los reales, mientras que los valores altos muestran lo contrario (Saucedo et al., 2023).

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

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 periodos 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)

Este error fue utilizado para medir la dispersión de los valores de precipitación, esto indicó la concentración de los datos en la línea de mejor ajuste. Si el RMSE es bajo, significa que, en promedio, las predicciones del modelo están cercanas a los valores reales. Si el RMSE es alto, indica que el modelo tiene grandes errores en sus predicciones (Hodson, 2022)

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

Donde:

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

Porcentaje de sesgo (PBIAS)

El porcentaje de sesgo es una medida estadística que se usó para evaluar la precisión de los datos de los valores obtenidos de las plataformas satelitales con respecto a los datos de la estación Alao (Lambrecht et al., 2024). Para este estadístico se usó 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, mediante parámetros estadísticos.

Para determinar la variabilidad en las series de precipitación producidas por la actividad natural o antrópica (calentamiento global), se establecieron dos supuestos: homogeneidad (libre de tendencia) y estacionalidad (constante en el tiempo), los supuestos de homogeneidad fueron utilizados para identificar los puntos cambiantes o las variaciones de los datos presentes en las series de tiempo, siendo útiles para el análisis y predicción de las series de tiempo (Truong et al., 2020, Aminikhanghahi & Cook, 2017) . Para ello se evaluaron estadísticamente aplicando dos pruebas no paramétricas con ayuda del programa Trend.

3.6.1 Cambio en la media

Prueba Pettit

La prueba Pettit, correspondiente a una prueba no paramétrica, se usó para identificar en qué momento se produjo el cambio de la media en los datos y análisis de la ruptura de las series del tiempo, como los que podrían resultar de cambios o eventos significativos de precipitación anual de la estación de Alao (Crespo, 2016).

Tendencia Mann Kendall

Método no paramétrico de análisis de tendencias de cambio de datos ambientales, se usó para evaluar de manera estadística la existencia tendencia significativa ascendente o descendente en una serie temporal de las variables de precipitación y temperatura a lo largo de 30 años divididos en 3 subperiodos de 10 años cada uno. Fueron utilizadas en datos de la estación meteorológica y las plataformas satelitales (Hishaam et al., 2015).

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

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

Donde:

n es la longitud del conjunto de datos de la serie temporal y **xi** y **xj** valor de la serie temporal en la posición *i* y *j* respectivamente y **Sgn (xj-xi)** es la función signo que toma los valores. S fue comparado con un valor de significancia de 0,05 para considerarlas significativas, cuando es positivo se deduce que la tendencia es creciente y si es negativo se deduce que hay tendencia decreciente.

Finalmente se evaluó la magnitud de las tendencias de cambio con el estimador de pendiente de Sen que permitió obtener las tasas de cambio mensual (Hishaam et al., 2015).

CAPÍTULO IV

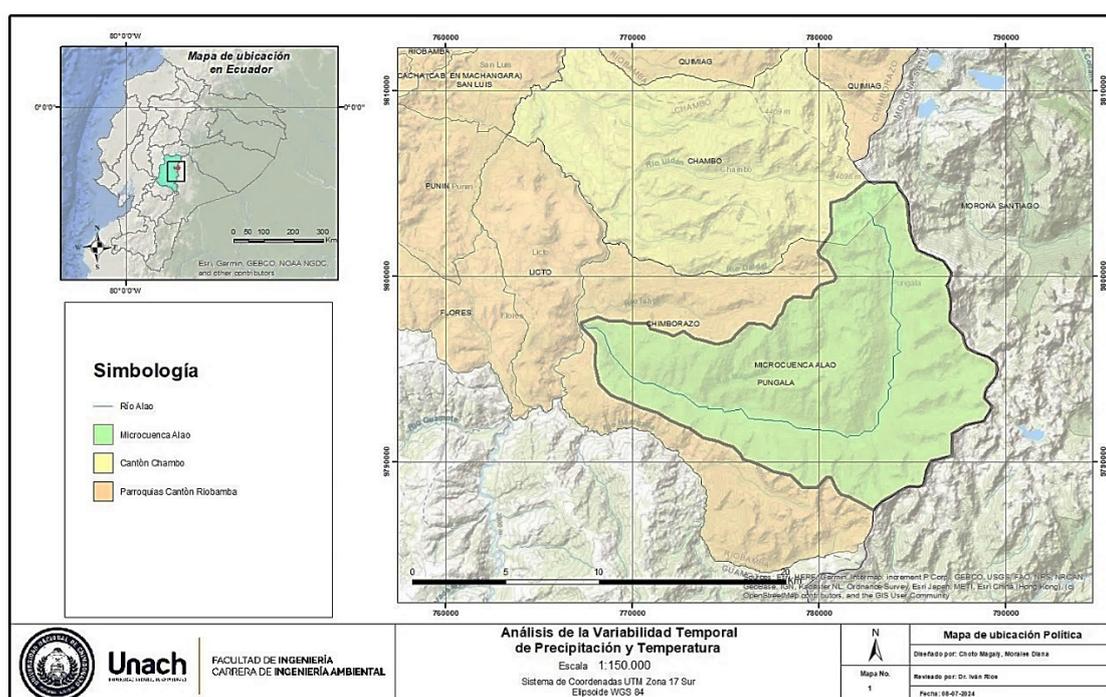
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Descripción del área de estudio

Ubicación política del área de estudio

La microcuenca del río Alao se encuentra ubicada en la zona rural del cantón Riobamba a unos 40 km aproximadamente de la capital provincial, esta atraviesa la parroquia Pungalá de este a oeste, con una altitud media de 3650 m.s.n.m. (GAD Parroquial Pungalá, 2019). Esta microcuenca limita al norte con el cantón Chambo, al sur con la parroquia Pungalá (cantón Riobamba), al este con la provincia de Morona Santiago, y al oeste con las parroquias Licto y Pungalá (GADM Riobamba, 2020).

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



Ubicación geográfica e hidrográfica del área de estudio

La microcuenca del río Alao pertenece a la subcuenca del río Chambo y a la cuenca del río Pastaza, se ubica en las coordenadas UTM Datum 84: 778 564,41 E y 9 796 687,44, su principal afluente de la red hídrica de la microcuenca es el río Maguazo. El río Alao junto al río Cebadas y otros ríos menores alimentan al río Chambo, contribuyendo al sistema hídrico del Amazonas.

Y centroide	m	9795198,44
Pendiente	%	49,11
Pendiente media de la cuenca	%	55,90

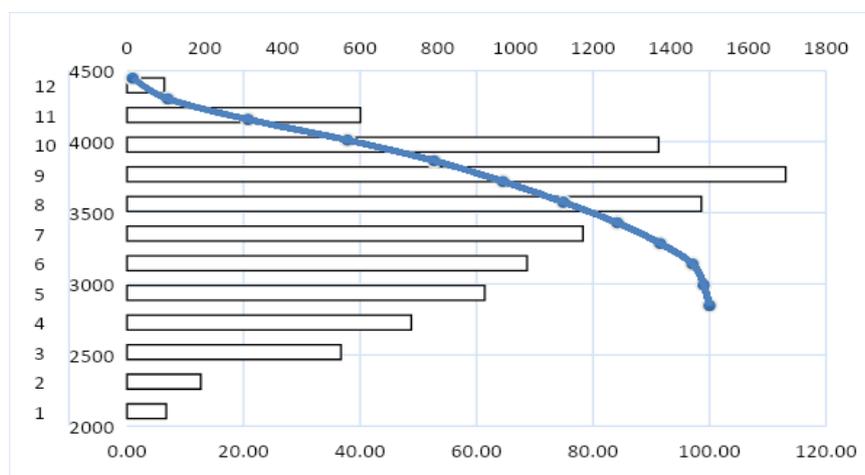
Red Hídrica

Longitud de curso principal	km	31,84
Orden de la red	Und	3
Tiempo de concentración	horas	1,94

La microcuenca presenta una forma oval oblonga ligeramente achatada, presenta mediana tendencia a inundaciones. Cabe mencionar que el cauce principal de la microcuenca es una fuente esencial de abastecimiento de agua para la ciudad de Riobamba y todas las comunidades de la región.

Curva hipsométrica

Figura 3. Curva hipsométrica de la microcuenca del río Alao

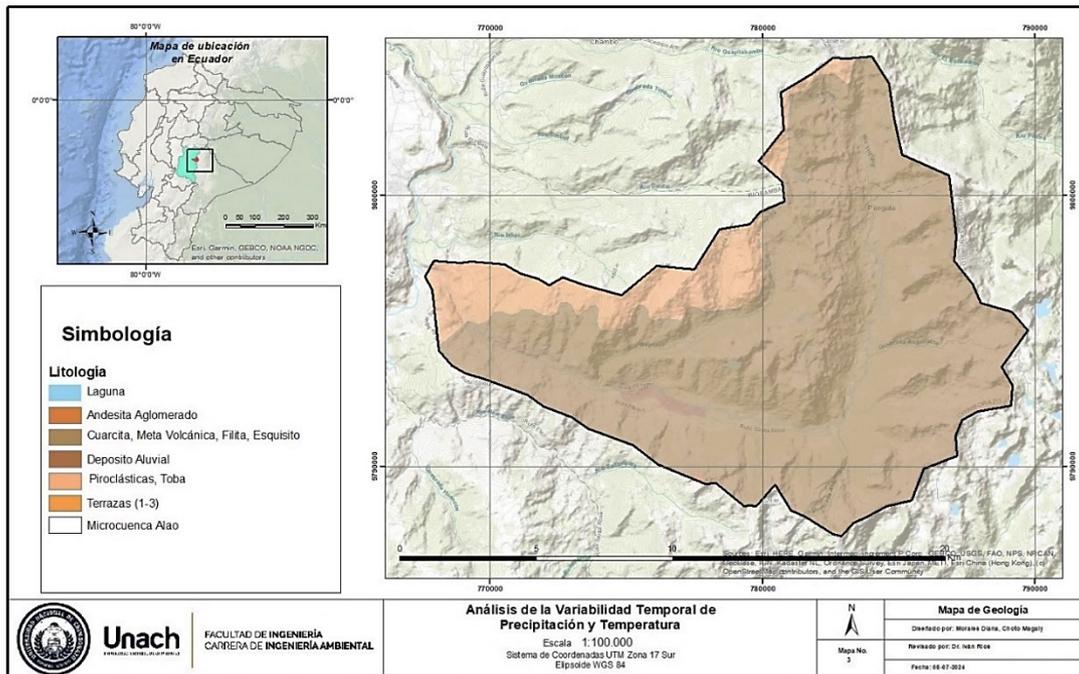


La figura 3 muestra la relación hipsométrica con un valor de 2,01 lo que representa que la microcuenca atraviesa un estado de vejez.

4.1.2 Características físicas de la microcuenca

Geología

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

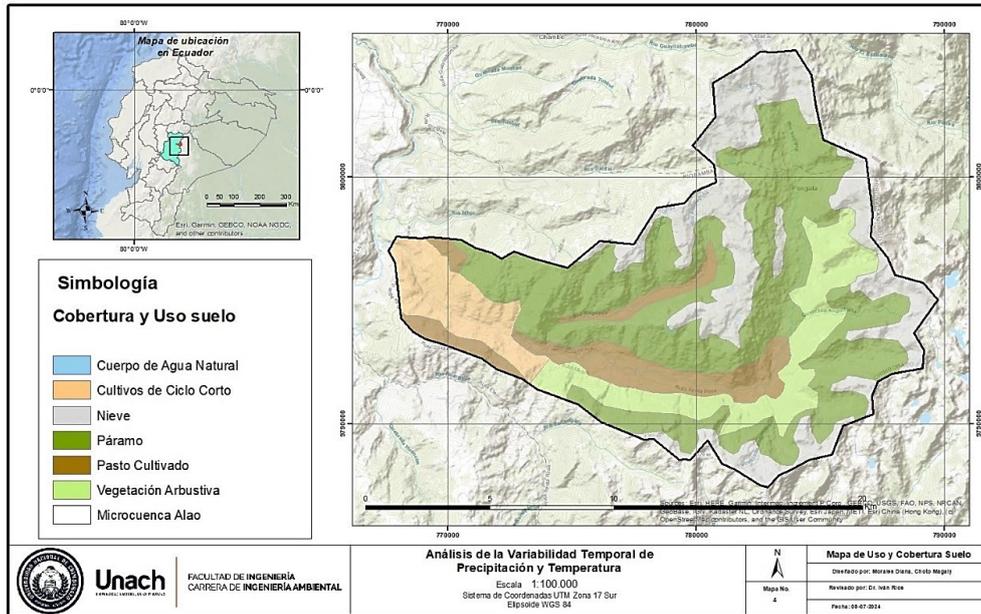


La figura 4 indica la clasificación litológica de la microcuenca, las cuales se presentan cuarcita, esquisito, meta volcánica, filita, meta volcánica con un área de 158,636 km², seguida de piroclásticas y toba con un área de 25,136 km², el depósito aluvial presenta una extensión de 1,273 km², la andesita aglomerada con 0,154 km² y las que presentan una extensión menor es de terrazas (1-3) con 0,024 km². Además, en la zona se evidencia una laguna con una extensión de 0,0059 km².

Uso de suelo

El uso y cobertura del suelo de esta microcuenca está dividida entre un cuerpo de agua natural, cultivos de ciclo corto, nieve, páramo, pasto cultivado y vegetación arbustiva, entre estas categorías el páramo ocupa mayor extensión con un área de 82,732 km², seguida de nieve con un área de 45,31 km² y vegetación arbustiva de 22,811 km², así como se presenta en la figura 5.

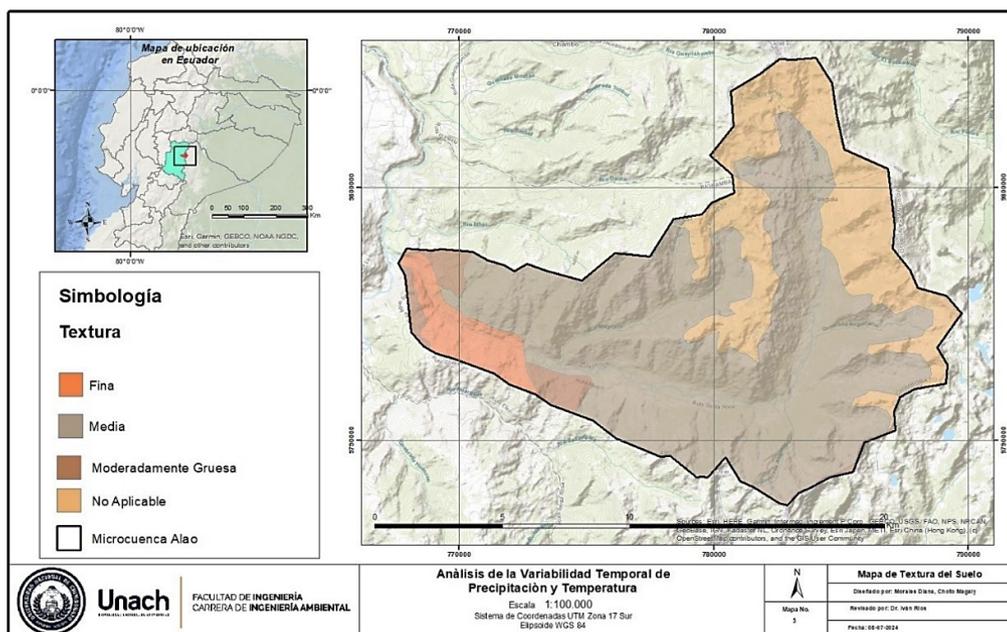
Figura 5. Mapa de cobertura y uso de suelo de la microcuenca del río Alao



Textura del suelo

En la figura 6 se visualiza las texturas presentes en la microcuenca, de la cual se encuentran texturas finas, medias, moderadamente gruesas y no aplicables. La textura que predomina en la zona es la textura media con un área de 121,784 km².

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



Relieve

El territorio de la microcuenca del río Alao se caracteriza por un relieve montañoso, propio de la estribación de una cordillera. En la tabla 3 se detallan las diferentes categorías que describen este relieve en la zona.

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 seleccionadas en tabla 1 son gestionadas por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), del cual se recopiló información de datos históricos disponibles de precipitación mensual para el período comprendido entre 1990 al 2013. Es importante destacar que las estaciones seleccionadas no cuentan con registros de temperatura a lo largo de los períodos. Por esta razón, se utilizó la plataforma satelital de información climática como recurso complementario.

4.2.2 Selección de estaciones meteorológicas

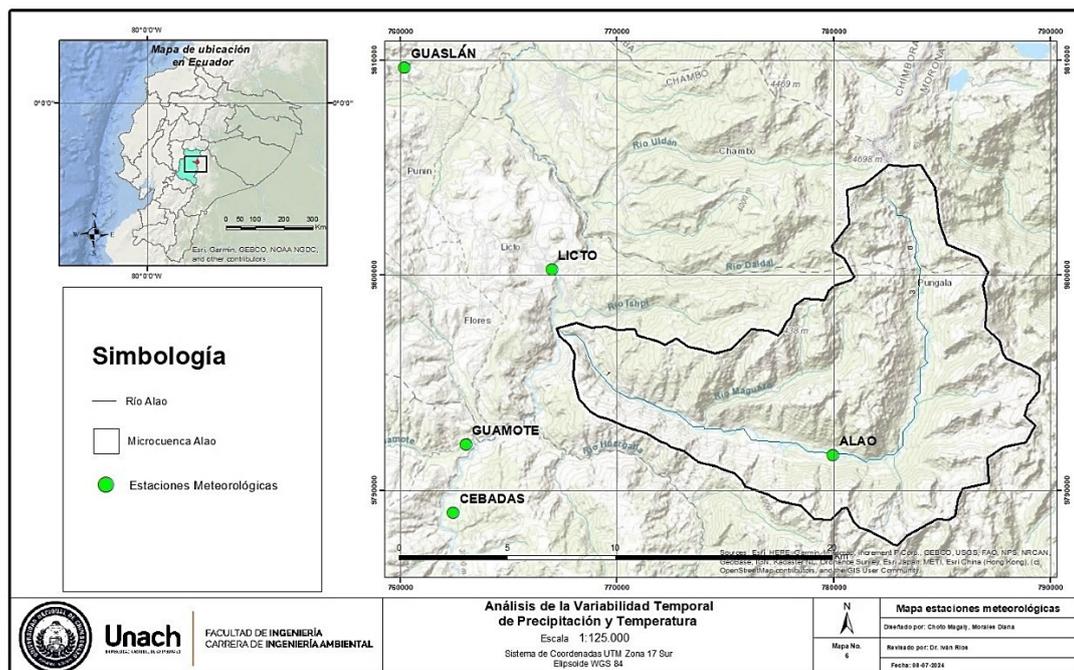
Las estaciones fueron seleccionadas utilizando dos criterios específicos: la cercanía a la microcuenca del río Alao y la disponibilidad de datos de precipitación y temperatura, con un límite máximo del 20% de datos faltantes.

Tabla 5. *Distancia de las estaciones meteorológicas*

Estación	Código	Altitud (m.s.n.m)	Distancia (km)
Alao	M0396	3200	3,56
Licto	M0407	2840	14,24
Cebadas	M0395	2930	18,91
Guaslán	M0133	2850	24,75
Guamote	M0134	2856	17,49

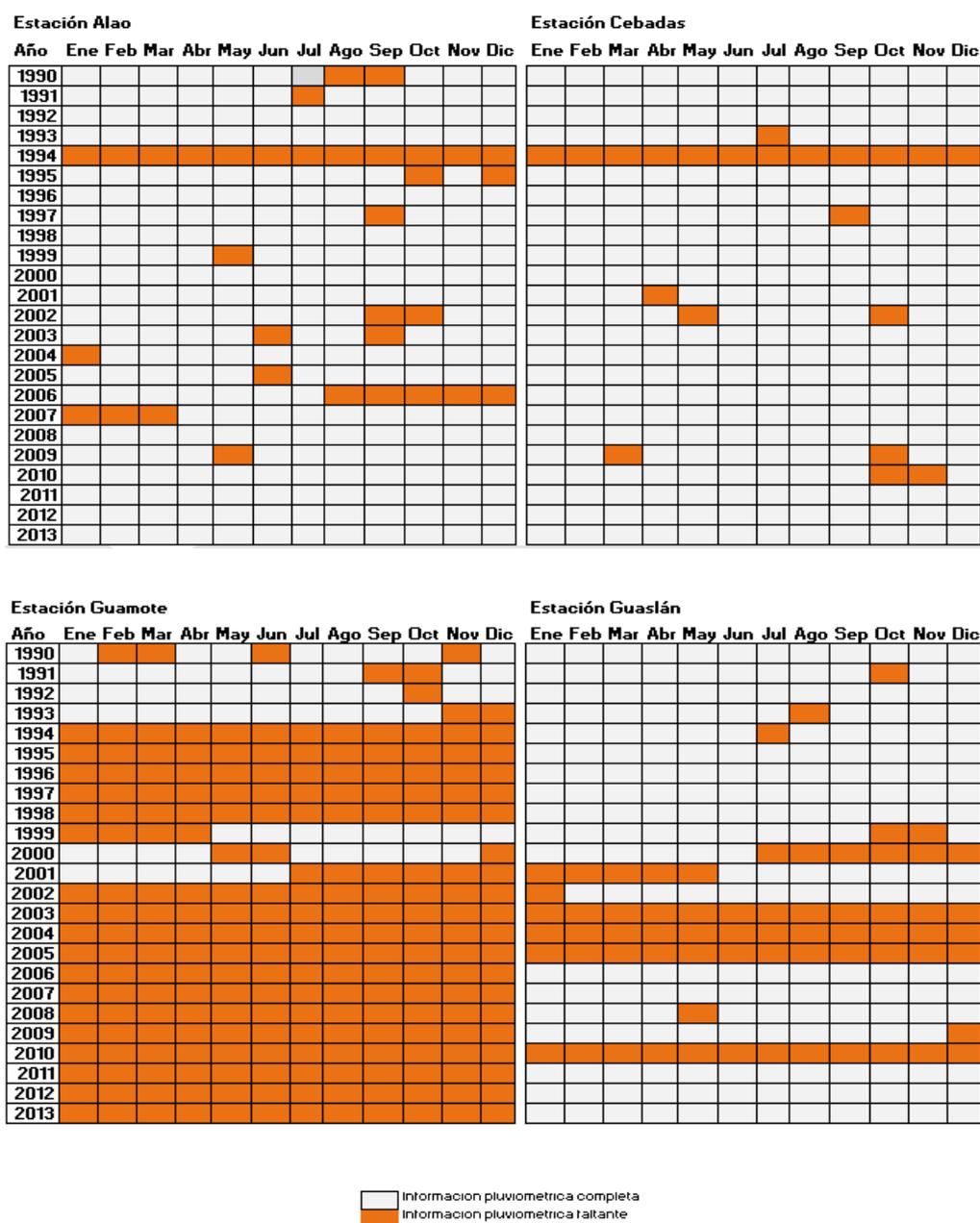
Considerando el primer criterio de selección, en la figura 7 y en la tabla 5 se observa la cercanía de la microcuenca con las estaciones meteorológicas, donde la estación meteorológica de Guaslán es la más lejana con una distancia de 24,75 km, por ende, se descarta como opción para la toma de datos meteorológicos.

Figura 7. *Estaciones meteorológicas disponibles en la microcuenca*



La figura 8 muestra que, durante el período de estudio, se registraron un total de 276 datos mensuales. Sin embargo, se observan porcentajes de datos faltantes en las estaciones meteorológicas de la siguiente manera: la estación de Alao con un 12,86%, la estación de Cebadas con un 7,61%, la estación de Guaslán muestra un 24,27%, la estación de Guamote tiene un 22,46% de datos faltantes, y la estación de Licto registra un 100% de datos faltantes. En consecuencia, debido a la disponibilidad de datos, se descarta las estaciones de Licto y Guamote.

Figura 8. Disponibilidad de información pluviométrica de las diferentes estaciones



4.2.3 Obtención de información de las plataformas climáticas

Durante la descarga de datos climáticos, se consideró el lenguaje de programación de cada plataforma para obtener resultados acordes a los requerimientos. Cada plataforma cuenta con códigos específicos que son utilizados en Google Earth Engine. Sin embargo, fue necesario filtrar estos códigos para evitar la obtención de información muy extensa.

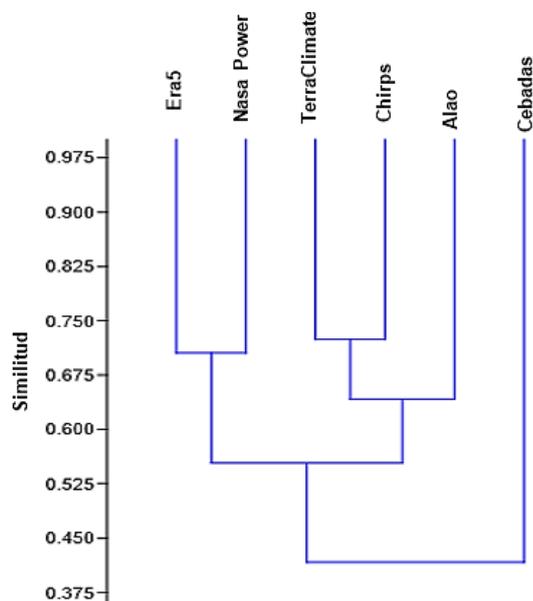
Se recopilaron datos diarios y mensuales de precipitación y temperatura de diferentes plataformas (TerraClimate, Era5, Chirps y Nasa Power) durante el período comprendido entre 01/01/1990 hasta el 31/12/2020. Se excluyeron otras plataformas debido a que presentaban diferencias significativas en comparación con los promedios de la estación meteorológica de referencia. Luego se procedió a organizar la información de las variables de análisis de las estaciones, así como de las fuentes satelitales en el orden y formato apropiado en hojas de cálculo de Excel.

4.3 Agrupación del conjunto de datos de precipitación y temperatura

Conjunto de datos de precipitación

Mediante la aplicación del método Ward se obtuvieron la agrupación de aquellas fuentes de datos de precipitación que comparten similitudes entre ellas (Ccori, 2019). En la figura 9 se pueden observar dos grupos: el primer grupo de datos con comportamiento similar corresponde a la estación Alao y los datos de precipitación de TerraClimate y Chirps, un segundo grupo está conformado por los datos de precipitación de Era5 y Nasa Power. Finalmente, se puede observar que la estación Cebadas no corresponde a ningún grupo.

Figura 9. Dendrograma, método de Ward para el conjunto de precipitaciones



Del análisis de similitud de cada conjunto se calcularon errores con respecto al conjunto de datos, en la tabla 6 muestran los registros de precipitación anual de las estaciones del grupo uno, estos oscilan entre 1055,53 mm y 1199,58 mm, respecto a los datos de la estación Alao se observa un porcentaje de error del 2,58% para TerraClimate y del 13,65% para Chirps. Por otro lado, el grupo dos presentan valores de precipitación que varían entre 1333,36 mm y 1469,65 mm. En relación con la estación Alao, los datos de Era5 presentan un porcentaje de error del 39.23%, mientras que para Nasa Power este porcentaje es del 26,90%.

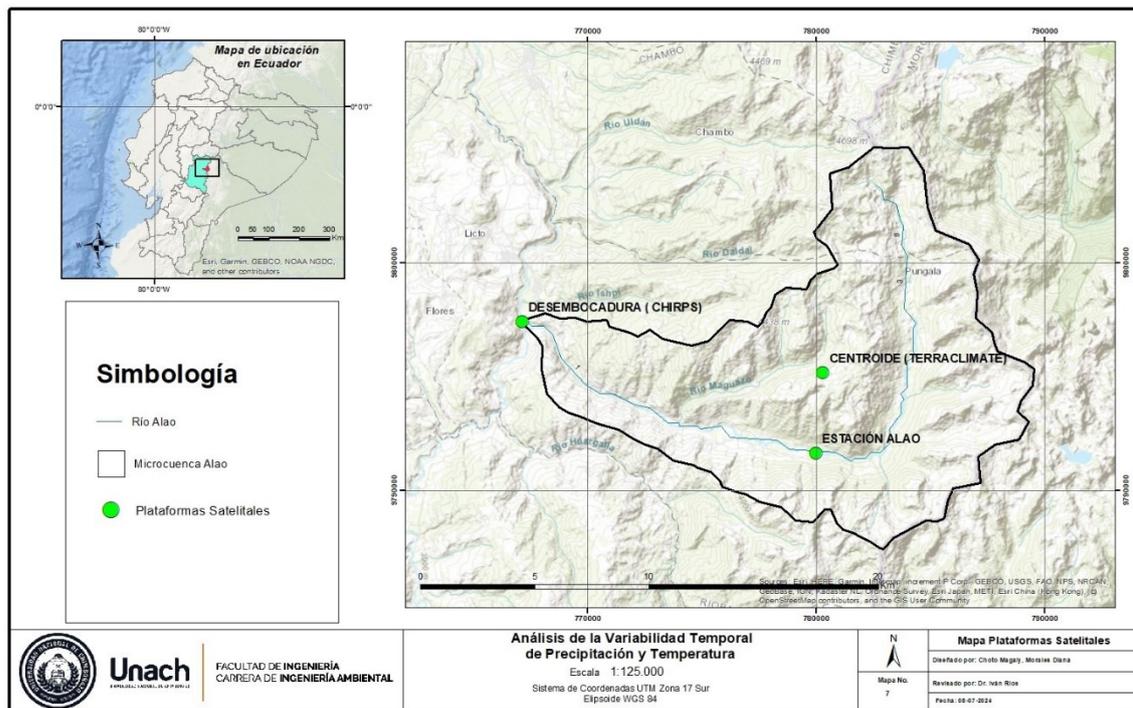
Tabla 6. Agrupación de datos de precipitación

Estación- Datos	Grupo	Período	Precipitación anual (mm)
Estación Alao	1		1055,53
TerraClimate	1		1082,73
Chirps	1	1990-2013	1199,58
Era 5	2		1469,65
Nasa Power	2		1339,46
Cebadas	-		647,42

Cabe destacar que la estación Cebadas registra una precipitación anual de 647,42 mm y al no pertenecer a ningún grupo ha sido descartada. Mientras que las plataformas de Era5 y Nasa Power pertenecientes al grupo dos se ha descartado por presentar mayor error con respecto al conjunto de datos de la estación Alao.

Por lo tanto, en la figura 10 muestra las plataformas que se seleccionó las cuales son, Chirps y TerraClimate debido a que mostro un porcentaje de error es menor con respecto a los datos de la estación meteorológica Alao. En caso de la temperatura por la ausencia de registros de las estaciones, se ha optado en usar la temperatura que se encuentra en el PDOT de la parroquia Pungalá, el cual ayudó a la selección de la plataforma satelital TerraClimate ya que el promedio de ambas es similar.

Figura 10. Mapa de ubicación de las plataformas satelitales



4.4 Análisis exploratorio de datos

4.4.1 Estadísticos descriptivos de precipitación.

Estación Alao

Los resultados de los estadísticos descriptivos se resumen en la tabla 7, en esta se destaca que la precipitación anual en la microcuenca del río Alao es 1055,53 mm, con un

valor máximo obtenido para la precipitación a escala mensual de 532,79 mm y el valor mínimo de 3,40 mm. Los datos de precipitación para el período 1990 al 2013 presentan un coeficiente de variación con un valor de 0,35 lo que indica una variación moderada.

Datos Chirps

Los resultados de los estadísticos descriptivos se resumen en la tabla 8. En esta se destaca la precipitación anual en la microcuenca del río Alao es 1199,58 mm, con un valor máximo obtenido de precipitación a escala mensual de 285,60 mm, adicionalmente en enero no se registraron valores de precipitación. Los datos de precipitación para el período 1990 al 2013, 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 Alao es 1082,73 mm, con un valor máximo obtenido para la precipitación a escala mensual de 467,60 mm y un valor mínimo de 5,00 mm de precipitación. Los datos de precipitación para el período 1990 al 2013 presentan un coeficiente de variación de 0,29 que corresponde a una variabilidad moderada.

Tabla 7. *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	63,13	81,59	85,48	118,83	101,93	111,22	107,39	67,65	70,33	82,58	91,97	73,43	1055,53
Varianza	1172,79	1725,22	1011,37	1922,62	3610,85	2660,06	3767,18	1284,46	1236,80	2107,79	10326,55	2643,52	139697,18
Desviación estándar	34,25	41,54	31,80	43,85	60,09	51,58	61,38	35,84	35,17	45,91	101,62	51,42	373,76
Coficiente Variación	0,54	0,51	0,37	0,37	0,59	0,46	0,57	0,53	0,50	0,56	1,10	0,70	0,35
Coficiente Sesgo	1,03	0,74	1,18	1,43	0,95	0,64	0,86	0,25	0,32	0,47	3,80	1,46	2,08
Valor Máximo	154,20	185,30	183,50	252,80	232,60	219,80	283,70	149,70	144,10	174,70	532,70	215,90	2332,30
Valor Mínimo	24,90	25,20	32,60	54,80	11,60	16,20	3,40	9,20	14,00	10,60	8,90	12,20	633,00

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

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Media	80,53	135,49	121,60	115,25	114,66	118,45	102,26	68,93	80,37	106,07	71,47	84,50	1199,58
Varianza	1000,00	2539,00	743,67	806,27	1124,22	812,71	401,96	415,40	2284,38	885,54	399,05	839,10	27692,48
Desviación estándar	31,62	50,39	27,27	28,39	33,53	28,51	20,05	20,38	47,80	29,76	19,98	28,97	166,41
Coefficiente Variación	0,39	0,37	0,22	0,25	0,29	0,24	0,20	0,30	0,59	0,28	0,28	0,34	0,14
Coefficiente Sesgo	-0,27	0,67	-0,06	0,51	1,05	-0,17	0,37	0,57	3,71	-0,19	1,37	1,02	0,55
Valor Máximo	140,70	243,70	170,50	189,60	188,70	170,20	137,20	117,60	285,60	161,20	132,70	156,80	1632,10
Valor Mínimo	0,00	63,50	72,10	68,90	72,10	60,70	72,60	39,40	43,50	42,50	44,70	49,50	897,00

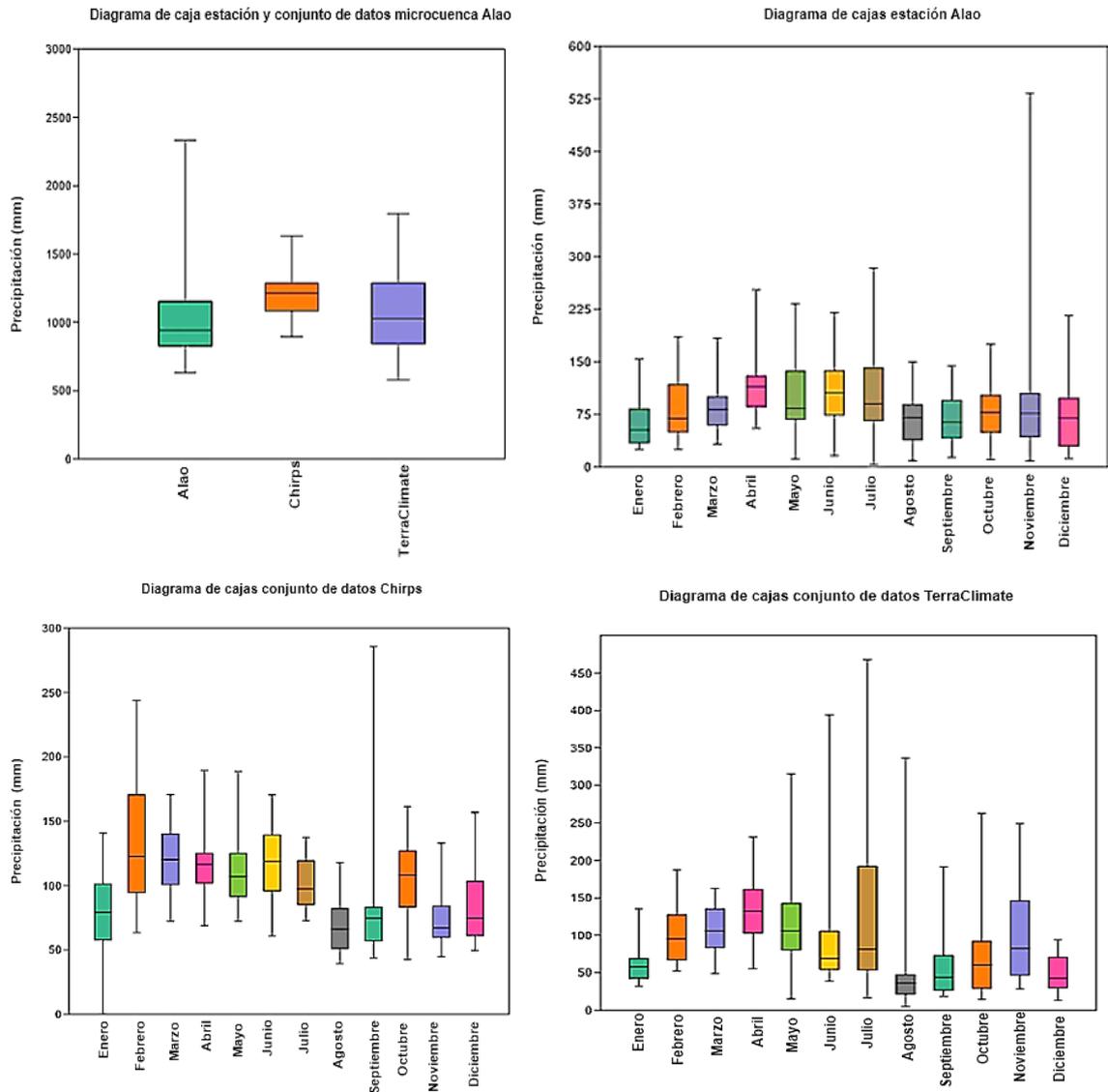
Tabla 9. *Análisis estadístico descriptivo de precipitación de la plataforma TerraClimate*

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Media	60,87	100,58	107,72	133,57	111,88	100,00	128,74	59,23	57,00	74,29	98,56	50,30	1082,73
Varianza	625,54	1303,31	1188,35	2071,51	3984,29	6939,26	12726,72	7410,64	1727,60	3375,50	3587,55	598,74	101587,14
Desviación estándar	25,01	36,10	34,47	45,51	63,12	83,30	112,81	86,09	41,56	58,10	59,90	24,47	318,73
Coefficiente Variación	0,41	0,36	0,32	0,34	0,56	0,83	0,88	1,45	0,73	0,78	0,61	0,49	0,29
Coefficiente Sesgo	1,30	0,67	-0,03	0,21	1,34	2,53	1,54	2,99	1,65	1,71	0,84	0,54	0,86
Valor Máximo	135,30	187,10	162,50	230,80	315,20	393,60	467,50	336,30	191,50	262,40	249,00	94,10	1795,30
Valor Mínimo	32,00	52,50	49,20	55,30	15,70	38,70	16,30	5,00	18,00	14,60	28,90	13,40	578,60

Diagrama de cajas

Una vez obtenido la información relativa a la concentración, localización y variación de los datos de precipitación, las series de precipitación anual fueron sometidas a este proceso para tener una primera aproximación de la calidad de los datos, los patrones de comportamiento y la posible presencia de valores atípicos.

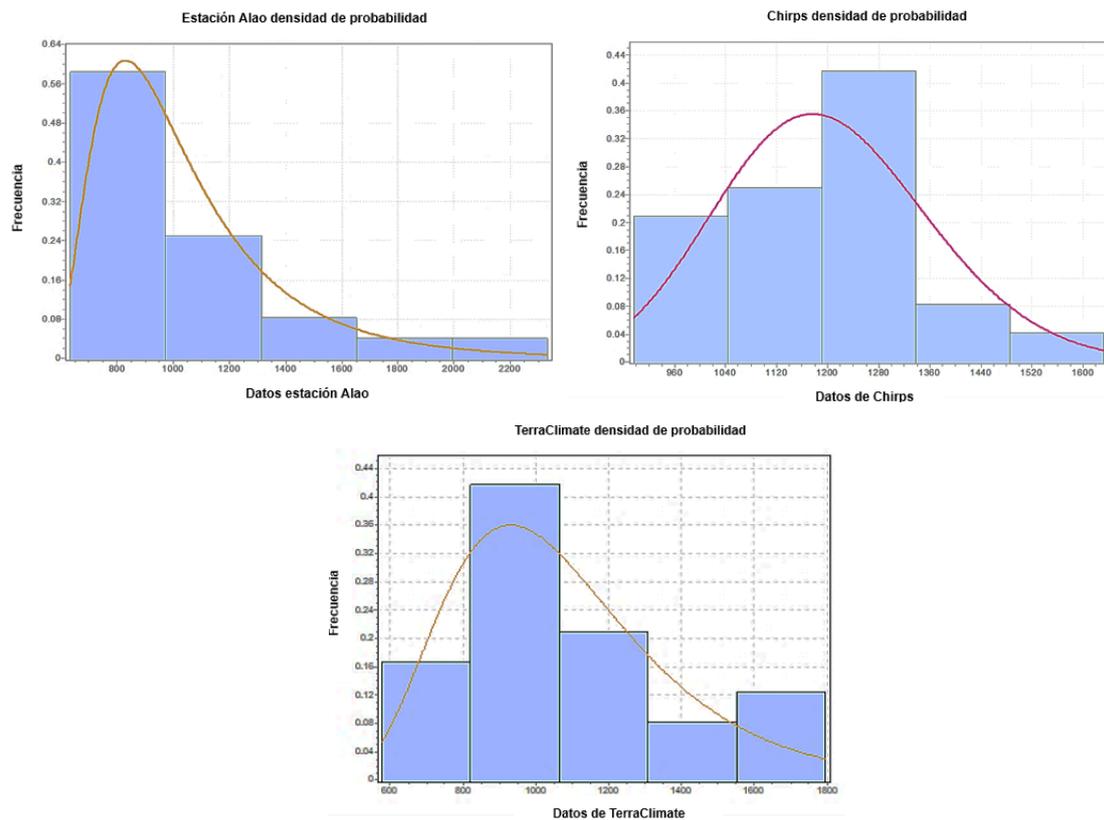
Figura 11. Diagrama de caja de los datos de precipitación de 1990 al 2013



En la Figura 11, se observa valores de precipitación mensual de mayo, junio, julio, septiembre y noviembre presentan puntos que potencialmente pueden ser considerados registros atípicos, sin embargo, estos no fueron eliminados, ya que presentan similitudes en las tres fuentes de información, por lo que podrían considerarse válidos.

Prueba de Normalidad

Figura 12. *Histogramas de normalidad del conjunto de datos*



Del análisis de la figura 12 y la aplicación de la prueba de normalidad, con parámetros ordinarios, se determinó que para la estación Alao el delta teórico de 0,1188, el cual es menor que el delta tabular de 0,2776 por lo tanto, los datos se ajustan a la distribución normal con un nivel de significancia del 5%. Para el conjunto de datos Chirps se obtuvo un delta teórico de 0,0741 también menor que el delta tabular de 0,2776, lo que indica que los datos se ajustan a la distribución normal con un nivel de significancia del 5%. Finalmente, para el conjunto de datos de TerraClimate, se encontró un delta teórico de 0,1188 menor al delta tabular de 0,2776, lo que sugiere que los datos también se ajustan a una distribución normal con un nivel de significancia del 5%.

4.4.2 Estadístico descriptivo de temperatura

Los resultados de los estadísticos descriptivos se resumen en la tabla 10, se destaca que la temperatura anual en la microcuenca del río Alao es 11,19 °C, con un valor máximo obtenido para la temperatura a escala mensual de 14,13 °C y un valor mínimo de temperatura de 7,89 °C. Los datos de temperatura para el período 1990 al 2020, presentan un coeficiente de variación con un valor de 0,05 que corresponde a una variabilidad baja.

Tabla 10. *Análisis descriptivo de temperatura de la plataforma TerraClimate*

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Media	11,86	11,45	10,87	11,68	11,56	10,47	9,91	9,86	10,72	11,39	12,21	12,26	11,19
Varianza	0,68	0,73	0,89	0,38	0,56	0,60	0,60	0,60	0,50	1,07	0,42	0,62	0,29
Desviación estándar	0,83	0,86	0,94	0,61	0,75	0,77	0,77	0,77	0,70	1,04	0,65	0,79	0,54
Coefficiente Variación	0,07	0,07	0,09	0,05	0,06	0,07	0,08	0,08	0,07	0,09	0,05	0,06	0,05
Coefficiente Sesgo	0,33	0,08	-0,29	0,28	-0,41	-0,39	-0,48	-0,19	0,46	-0,58	0,13	0,50	0,15
Valor Máximo	13,88	13,10	12,64	12,93	12,63	11,63	11,03	11,51	12,61	13,46	13,46	14,13	12,30
Valor Mínimo	10,13	9,80	8,58	10,73	10,12	8,82	8,20	7,89	9,42	8,98	11,20	11,03	10,25

4.5 Análisis de la precipitación

4.5.1 Método de vector regional (MVR)

Para el cálculo del Vector Regional se consideraron registros de precipitación de la estación Alao y los conjuntos de datos de las plataformas de Chirps y TerraClimate, como se muestra en figura 10, para ello se consideró los coeficientes de correlación anual entre el vector regional de la estación y de las plataformas, los resultados obtenidos deberán ser superiores iguales a 0,65, para confirmar la correlación. Se obtuvo que los registros de precipitación de la estación Alao con los datos de TerraClimate y Chirps, cumplen con la hipótesis de pseudo proporcionalidad, como se puede observar en la tabla 11 los resultados en la columna correspondiente a “Correlación /Vector”.

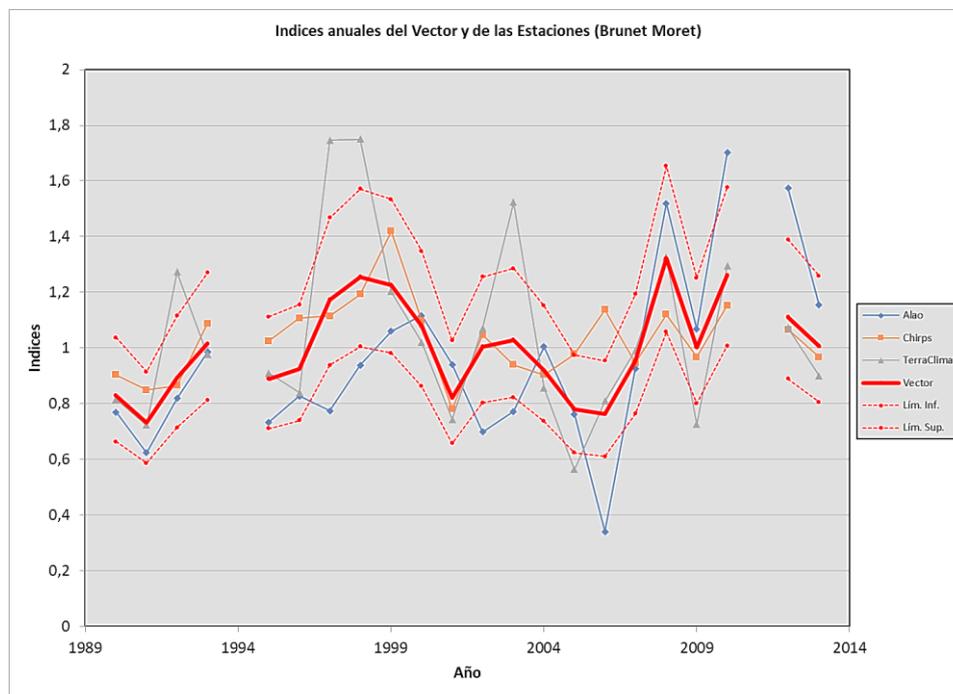
Tabla 11. *Correlación anual del vector y las plataformas satelitales*

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 valores de correlación de 0,67 para el conjunto de datos Chirps y 0,75 para TerraClimate indican que existe una relación estadística entre los datos de precipitación medidos por Chirps y los datos de TerraClimate. Esto significa que, la probabilidad de aumentos y disminución de las precipitaciones en la microcuenca del río Alao es similar en ese período de tiempo para las fuentes de datos analizadas.

De la misma manera, en la figura 13 se resume la doble acumulación de los índices anuales del vector regional de los tres conjuntos de datos, del cual se presenta una buena linealidad, existen algunos quiebres que serán analizados posteriormente.

Figura 13. Índices anuales del vector regional de la microcuenca Alao de 1990 al 2013



Vector regional mensuales con datos sin relleno

Para verificar y validar el conjunto de datos fue necesario realizar un análisis de correlación para cada mes, lo que permitió verificar que no contenga sesgos en el estudio.

Tabla 12. Correlación mensual de enero a abril

Meses	Número 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 12, presenta los valores de correlación de los meses de enero hasta el mes de abril, la correlación del conjunto de datos es mayores a 0,65 para Chirps y TerraClimate, lo que indica que existe una relación estadística entre los datos de precipitación medidos por Chirps y los datos de TerraClimate. Esto significa que, durante los meses mencionados, la probabilidad de aumentos y disminución de las precipitaciones en la microcuenca del río Alao es similar en ese período de tiempo para las fuentes de datos analizadas.

Tabla 13. *Correlación mensual de mayo a agosto*

Meses	Número de años	Correlación/Vector		
		Alao	Chirps	TerraClimate
Mayo	22	0,73	0,81	0,79
Junio	22	0,47	0,45	0,88
Julio	22	0,70	0,60	0,75
Agosto	22	0,55	0,54	0,91

La tabla 13 presenta, la correlación de los meses de mayo hasta el mes de agosto, en mes de mayo los valores de correlación son de 0,81 para el conjunto de datos Chirps y 0,79 para TerraClimate, lo que indican que existe una relación estadística entre los datos de precipitación medidos por Chirps y los datos de TerraClimate.

Mientras que para el mes de junio hasta agosto los valores de correlación no presentan una relación estadística entre los datos de precipitación medidos por Chirps ya que presentan valores menores a 0,65, caso contrario los datos medidos por TerraClimate en donde existe la relación estadística. Esto significa que, la probabilidad de aumentos y disminución de las precipitaciones en la microcuenca del río Alao no es similar en estos meses.

Tabla 14. *Correlación mensual de septiembre a diciembre*

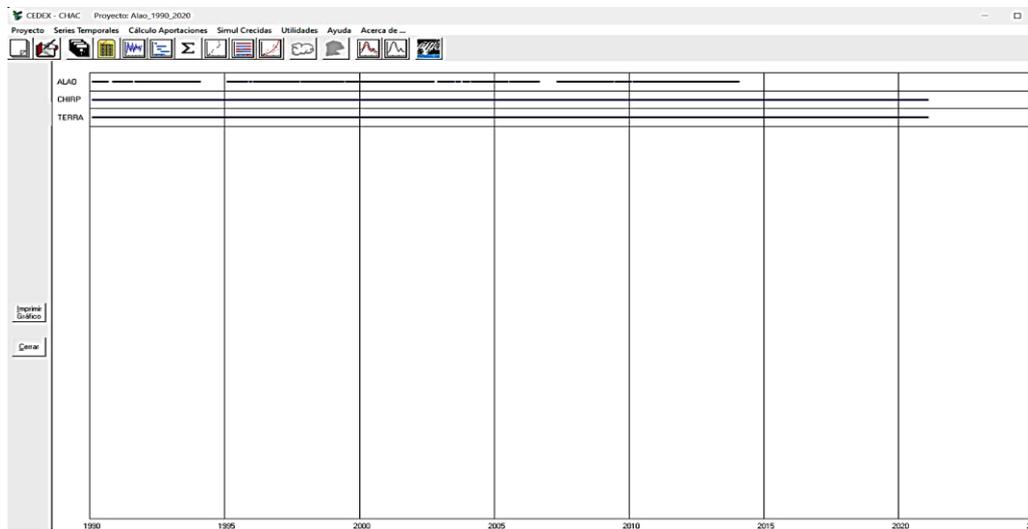
Meses	Número de años	Correlación/Vector		
		Alao	Chirps	TerraClimate
Septiembre	22	0,57	0,92	0,93
Octubre	22	0,59	0,79	0,80
Noviembre	22	0,69	0,68	0,68
Diciembre	22	0,86	0,77	0,91

La tabla 14 representa los valores de correlación para los meses de septiembre hasta diciembre, el conjunto de datos presenta una relación estadística entre los datos de precipitación medidos por Chirps y los datos de TerraClimate. Esto significa que, la probabilidad de aumentos y disminución de las precipitaciones es similar en ese período de tiempo.

4.6 Relleno y extensión de la información pluviométrica

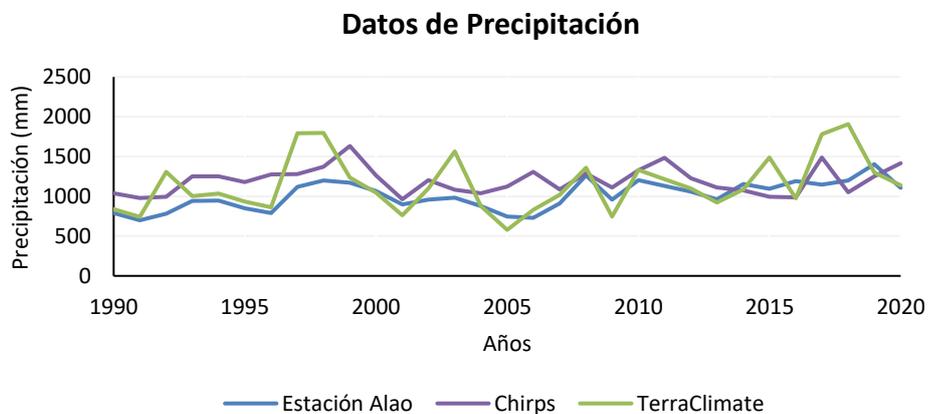
Una vez calculado el vector regional y constatado la correlación, se procede a la estimación de datos faltantes de la estación Alao (mostrado en la figura 14), con los datos de precipitación medidos por Chirps y los datos de TerraClimate. El proceso de estimación y extensión de datos faltantes de la estación se llevó a cabo mediante modelos de regresión lineal simple disponible en el programa Chac, los datos rellenados se muestran en la figura 15.

Figura 14. Cronograma de los datos faltantes de la estación meteorológica



Nota: Los espacios en blanco representa los periodos que fueron rellenado por el programa.

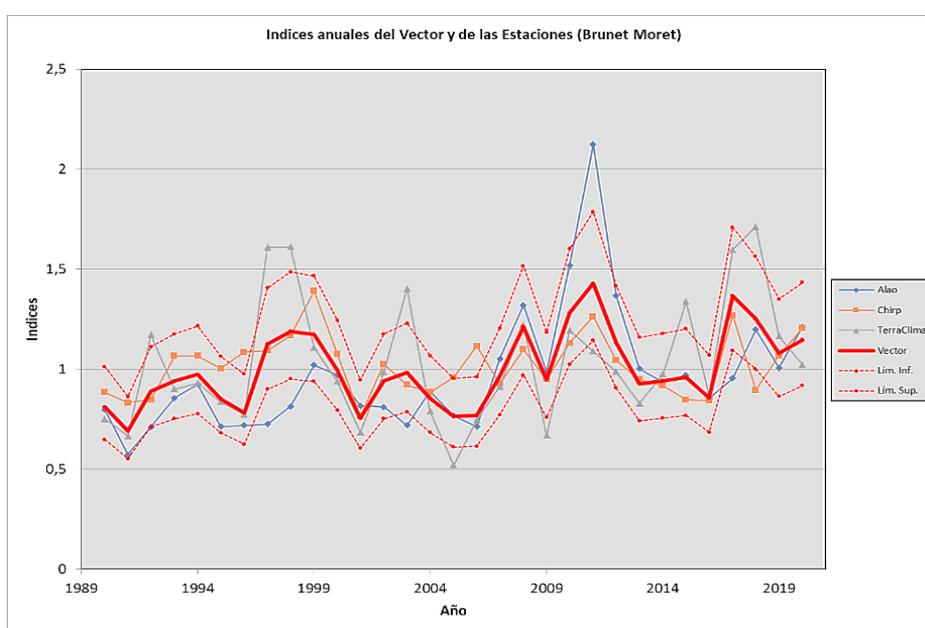
Figura 15. Serie de datos de precipitación de 1990 al 2020



Vector regional anual de la microcuenca Alao

La figura 16 muestra los índices de correlación del vector con la de estación Alao y el conjunto de datos Chirps y los datos de TerraClimate, el cual muestra que corresponden a una región estadísticamente homogénea, cada una de ella con una correlación aceptable con el vector regional. De la misma manera, se presenta una buena linealidad, donde los quiebres fueron corregidos.

Figura 16. Índices anuales de vector y las estaciones de 1990 al 2020



En la tabla 15 se observan los valores de correlación del conjunto de datos rellenos el cual presenta una correlación anual de 0,65 para el conjunto de datos de Chirps y 0,89 para TerraClimate, esto indica que existe una relación estadística entre los datos de precipitación medidos por Chirp y los datos de TerraClimate. Lo que significa que, la posibilidad de aumento y disminuciones de las precipitaciones en la microcuenca del río Alao es similar en ese periodo de tiempo.

Tabla 15. *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	30	0,19	0,02	0,1	0,84
Chirps	30	0,15	-0,004	0,13	0,65
TerraClimate	30	0,30	-0,02	0,16	0,89

4.6.1 Vector regional mensual de la microcuenca del río Alao.

Tabla 16. *Índice de correlación del primer grupo mensual*

Meses	Número de años	Correlación/Vector		
		Alao	Chirps	TerraClimate
Enero	30	0,71	0,81	0,62
Febrero	30	0,69	0,79	0,70
Marzo	30	0,53	0,67	0,74
Abril	30	0,89	0,67	0,75

La tabla 16 presenta los valores de los meses de enero hasta abril de correlación, en el mes de enero cuenta con 0,81 para el conjunto de datos Chirps y 0,62 para TerraClimate indican que no existe una relación estadística entre los datos de precipitación medidos por Chirps y los datos de TerraClimate. Esto significa que, la probabilidad de aumentos y disminución de las precipitaciones en la microcuenca del río Alao no es similar en ese período de tiempo para las fuentes de datos analizadas.

Mientras que, los meses de febrero, marzo y abril a presenta valores de correlación mayores a 0,65 para el conjunto de datos Chirps y para TerraClimate, esto indican que existe una relación estadística entre los datos de precipitación medidos por Chirps y los datos de TerraClimate. Esto significa que, la probabilidad de aumentos y disminución de las precipitaciones en la microcuenca del río Alao es similar en ese período de tiempo para las fuentes de datos analizadas.

Tabla 17. *Índice de correlación del segundo grupo mensual*

Meses	Número de años	Correlación/Vector		
		Alao	Chirps	TerraClimate
Mayo	30	0,73	0,84	0,79
Junio	30	0,79	0,51	0,67
Julio	30	0,77	0,68	0,67
Agosto	30	0,75	0,56	0,75

La tabla 17 presenta valores de correlación de los meses de mayo hasta agosto, el cual en el mes de mayo y julio cuenta con un valor correlación mayor a 0,65 para el conjunto de datos Chirps y TerraClimate indican que existe una relación estadística entre los datos de precipitación medidos por Chirps y los datos de TerraClimate. Esto significa que, la probabilidad de aumentos y disminución de las precipitaciones en la microcuenca del río Alao es similar en ese período de tiempo para las fuentes de datos analizadas.

Mientras que el mes de junio y agosto presenta valores de correlación menores a 0,65 el conjunto de datos Chirps, lo que indican que no existe una relación estadística entre los datos de precipitación medidos por Chirps y los datos de TerraClimate. Esto significa que, la probabilidad de aumentos y disminución de las precipitaciones en la microcuenca del río Alao no es similar en ese período de tiempo para las fuentes de datos analizadas.

Tabla 18. *Índice de correlación del tercer grupo mensual*

Meses	Número de años	Correlación/Vector		
		Alao	Chirps	TerraClimate
Septiembre	30	0,59	0,68	0,77
Octubre	30	0,66	0,73	0,77
Noviembre	30	0,77	0,65	0,66
Diciembre	30	0,84	0,73	0,87

La tabla 18 presenta los valores de correlación de los meses de septiembre hasta diciembre, los valores presentados son mayores que 0,65 para el conjunto de datos Chirps y TerraClimate, lo que indican que existe una relación estadística entre los datos de precipitación medidos por Chirps y los datos de TerraClimate, esto significa que, la

probabilidad de aumentos y disminución de las precipitaciones en la microcuenca del río Alao es similar en ese período de tiempo para las fuentes de datos analizadas.

4.7 Validación de datos

Para la comparación de los registros estimados de Chirps y TerraClimate con la estación Alao, se aplicaron las siguientes pruebas estadísticas: 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 muestran datos de la correlación mensual entre la estación Alao y las plataformas Satelitales los valores de correlación oscilan entre 0,44 a 0,84 para Chirps indicando una correlación moderada a fuerte y entre 0,64 a 0,88 para TerraClimate señalando una correlación fuerte a muy fuerte

Tabla 19. *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

Mientras que, a escala anual la dispersión de la precipitación con registros de datos de Chirps y TerraClimate el coeficiente de Pearson es de 0,712 y 0,708 respectivamente representados en la figura 17 y 18. Comparados con nivel de confianza del 95% demuestra

una correlación fuerte, es decir tienen un buen ajuste de los datos de precipitación con respecto a los registros de la estación Alao, tabla 20.

Figura 17. *Dispersión de la precipitación de la plataforma Chirps*

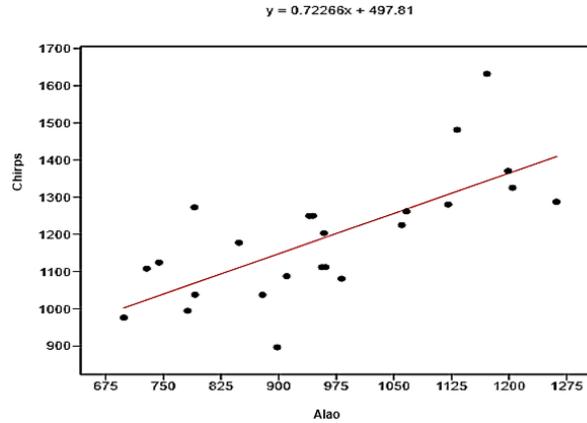


Figura 18. *Dispersión de la precipitación de la plataforma TerraClimate*

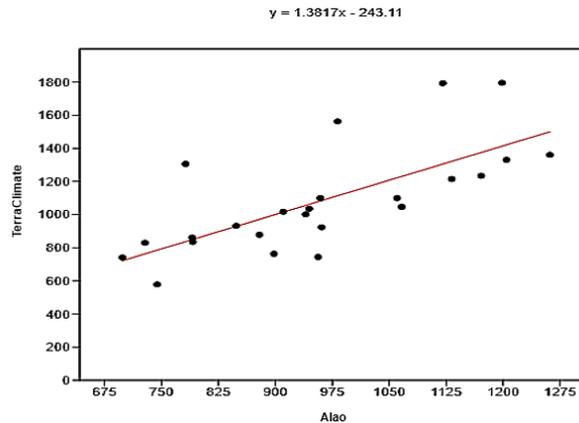


Tabla 20. *Resultados de la evaluación estadística del conjunto de datos*

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

Nota: MAPE hace referencia a el error porcentual absoluto medio, RMSE se refiere al error cuadrático medio, PBIAS es el sesgo relativo.

En el análisis de validación de datos mostrados en la tabla 20 los resultados de los datos de precipitación presentan una fuerte correlación. Mientras que, el estadístico de

RMSE obtenido es de 231,67 de Chirps y 123,15 de TerraClimate, considerando que en esta variable se cuenta con ciertos valores atípicos. Los valores del MAPE van de 7,462% para Chirps y 9,726 % para TerraClimate, esto significa que el conjunto de datos tiene una buena precisión, la evaluación mediante PBIAS, los valores 24,14% (Chirps) y 12,83% (TerraClimate) indica que cuenta con una presión aceptable.

4.8 Análisis de homogeneidad y estacionariedad

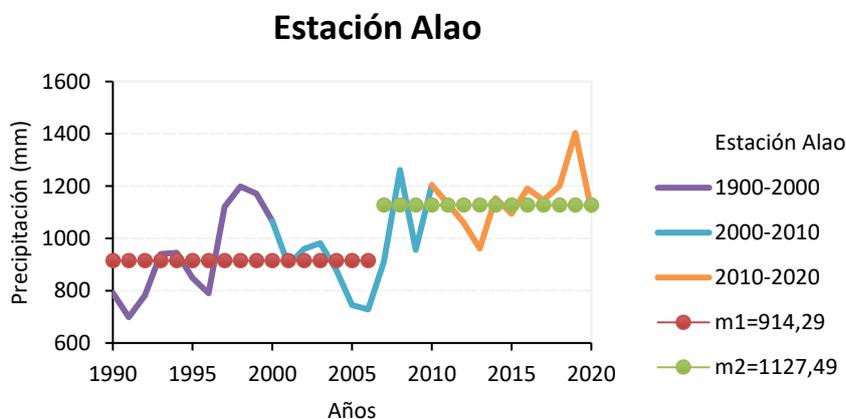
Para determinar la variabilidad en las series de precipitación y temperatura producidas por la actividad natural o antrópica (calentamiento global), se establecieron dos supuestos: Homogeneidad (libre de tendencia) y Estacionariedad (constante en el tiempo). Se evaluaron estadísticamente aplicando dos pruebas no paramétricas.

4.8.1 Cambio en la media

Prueba Pettit de los datos de precipitación

Este estadístico se usó para ver los puntos de cambios de medias quien se aplicó con los datos de la estación meteorológica Alao con los datos de precipitación. Mediante la aplicación de la prueba de Pettit se detectaron cambios en la serie histórica de precipitación anual de la estación de Alao, se registra un valor de 0,001, por lo que se identifica un cambio significativo en la media durante los años de 2006 hasta el 2007 el cual se observa en la figura 19, esto verifica la variabilidad de precipitación en el periodo de estudio.

Figura 19. Serie temporal de los 3 subperiodos de la estación de Alao



Prueba Pettit de precipitación de datos mensual significativos

Después de examinar las variaciones a nivel anual, es necesario realizar un análisis mensual para identificar los meses clave en los que se observan estos cambios, 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 ya que, su valor de significancia es menor de 0,05, según este criterio estadístico, se observa una variabilidad en la precipitación durante estos meses, esta variación se puede observar en la figura 20 y 21.

Figura 20. Serie temporal del mes de mayo de 1990 al 2020

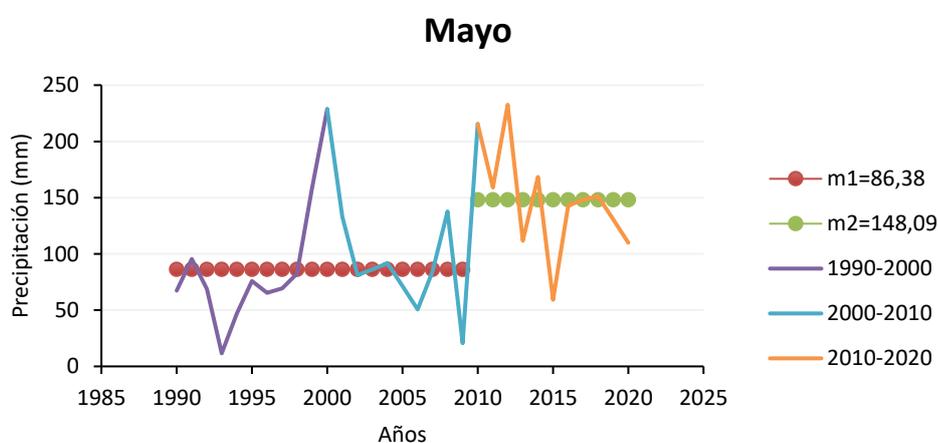
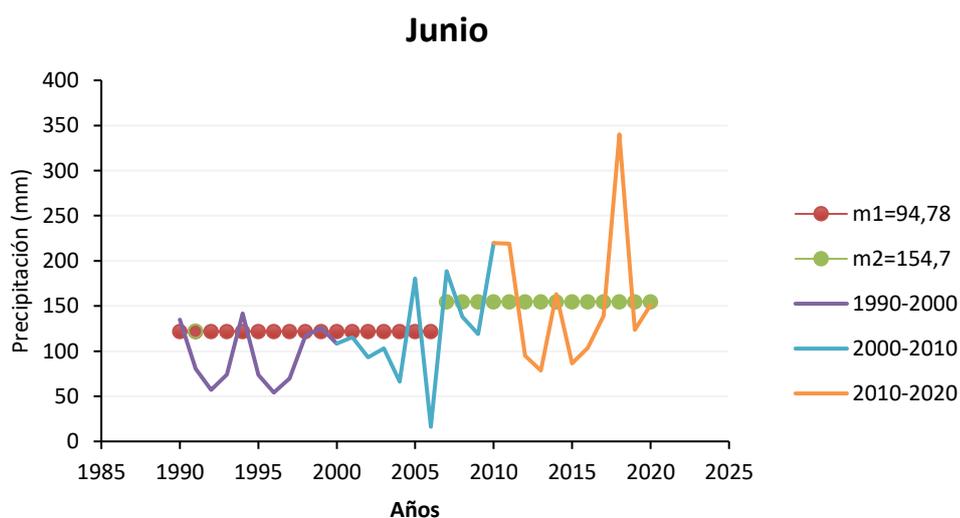


Figura 21. Serie temporal del mes de junio de 1990 al 2020



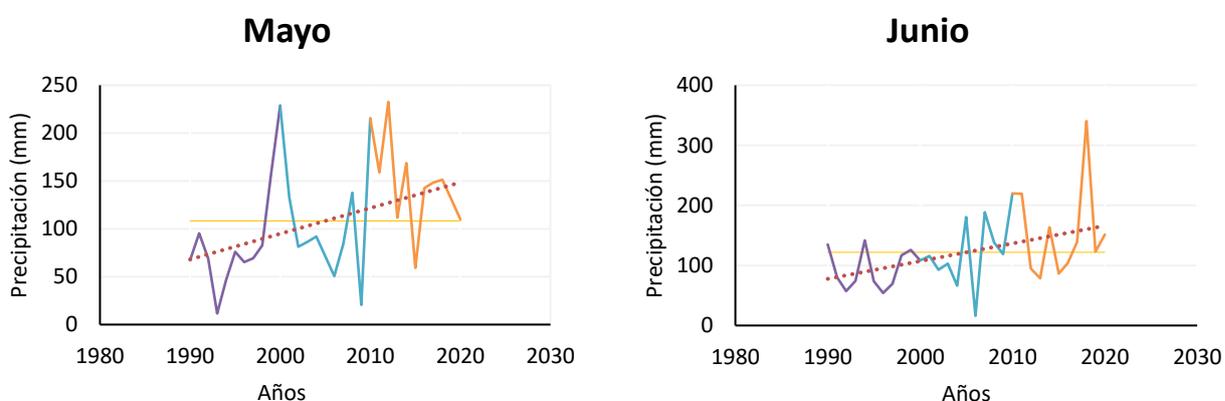
Tendencia de Mann Kendall de datos de precipitación

Tabla 21. 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 ↑				

Se analizó los valores de tendencia de los datos anual como de los tres subperiodos de la estación meteorológica Alao, Chirps y TerraClimate, durante los periodos, el análisis de los datos anual de la estación meteorológica Alao se constató que, existen tendencias positivas en el mes de mayo, junio y diciembre con valores de 0,009; 0,027 y 0,014 respectivamente lo que significa que en estos tres meses la tendencia es ascendente, refiriendo al aumento significativo de precipitaciones tal y como muestra en la tabla 21 y figura 22. Cabe mencionar que, los datos de Chirps y TerraClimate no presentaron tendencias significativas.

Figura 22. Serie temporal anual de la tendencia de Mann Kendal



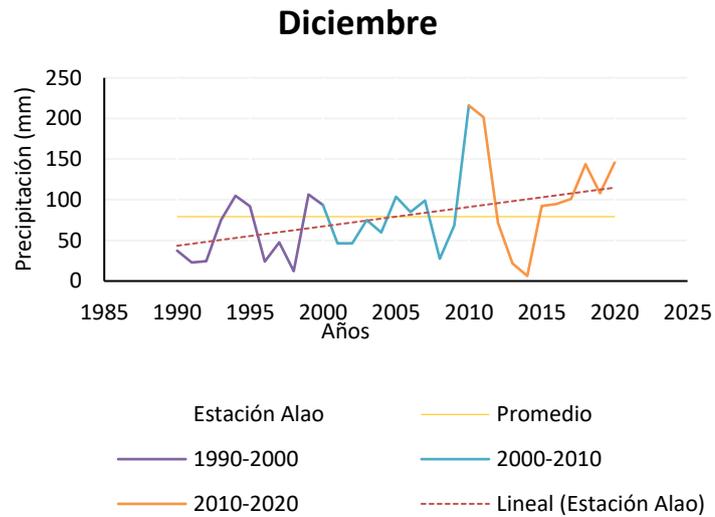


Tabla 22. Tendencia de Mann Kendall para 1990 al 2000

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

En la tabla 22 se observa que en el subperiodo de 1990 hasta 2000 no se observa tendencia de cambio en la estación de Alao y la plataforma de TerraClimate, más en la plataforma de Chirps se observa cambio significativo en el mes de junio y agosto, ambos con un valor de 0,029 (tendencia ascendente) como muestra la figura 23, 24 y 25.

Figura 23. Tasa de cambio de precipitación del mes de junio

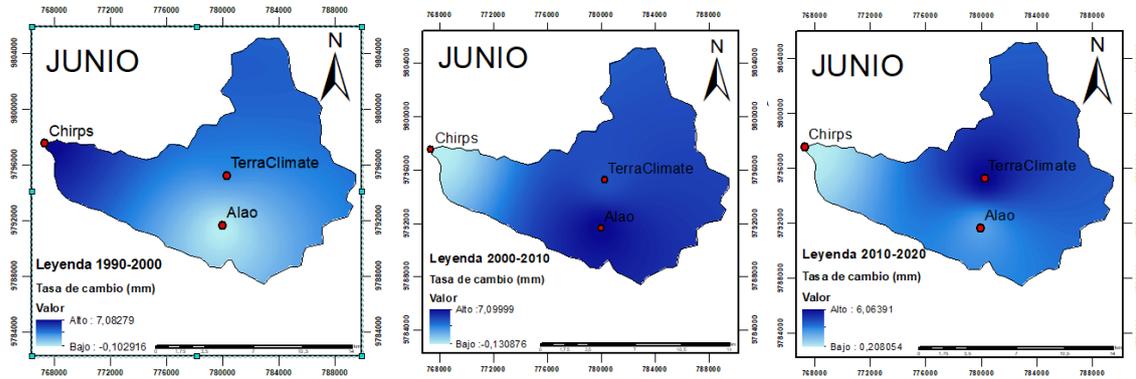


Figura 24. Tasa de cambio de precipitación del mes de agosto

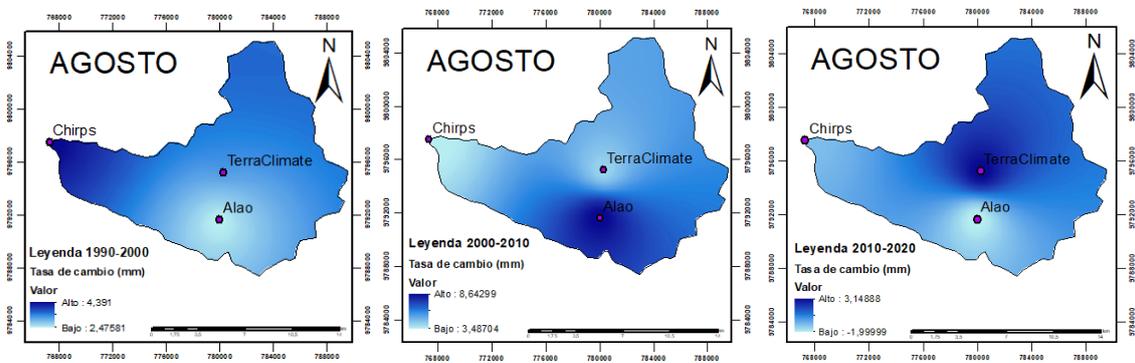


Figura 25. Serie temporal mensual de la tendencia de Mann Kendal durante 1990 al 2000

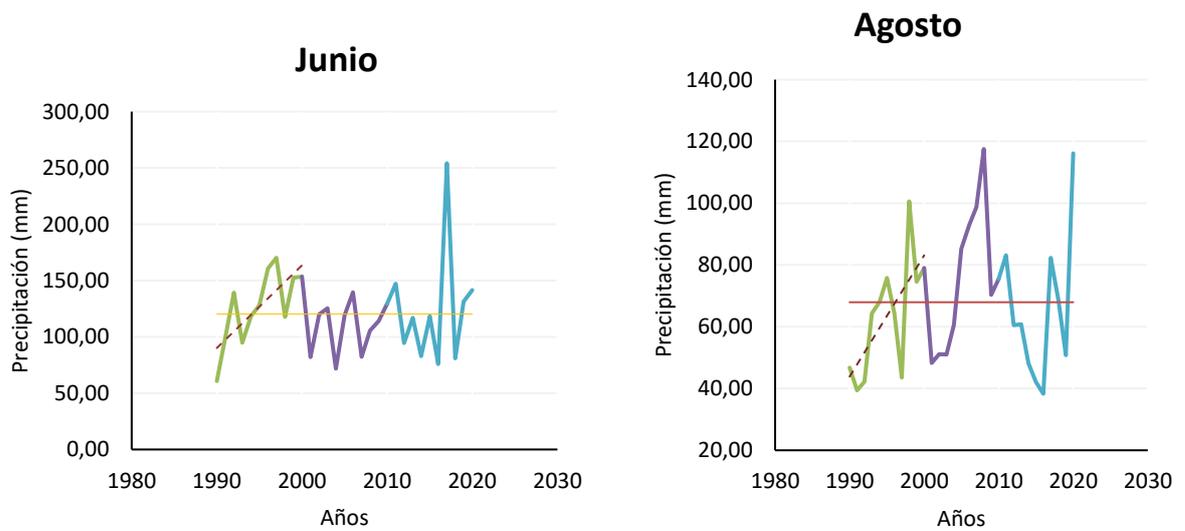


Tabla 23. Tendencia de Mann Kendall para 2000 al 2010

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 por lo cual presenta una tendencia significativa ascendente, así como se presenta en la tabla 23, figura 26 y 27.

Figura 26. Tasa de cambio de precipitación mes de octubre

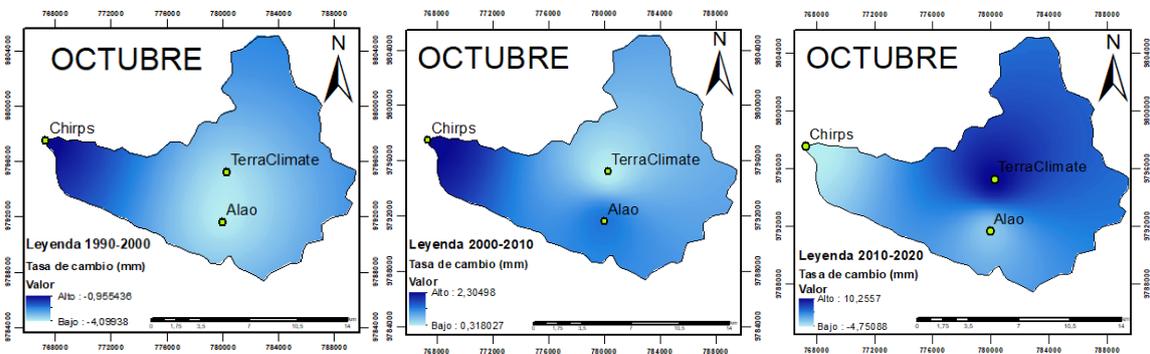


Figura 27. Serie temporal tendencia de Mann Kendal del mes de octubre de 2000 al 2010

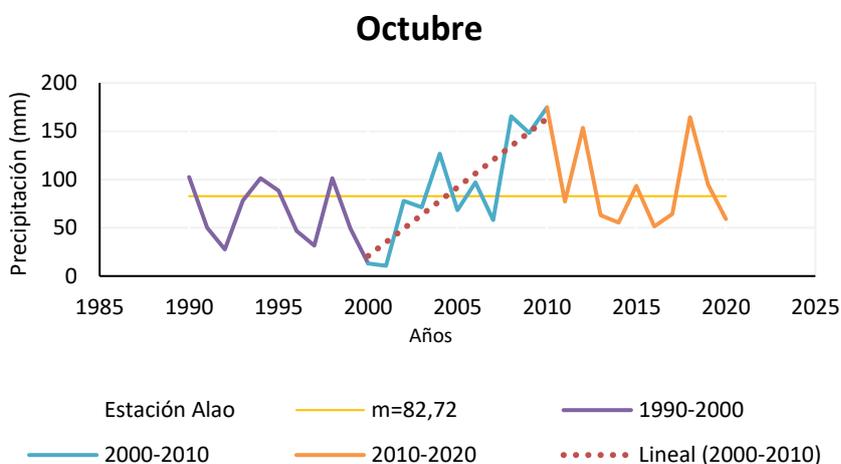


Tabla 24. Tendencia de Mann Kendall para 2010 al 2020

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 periodo de 2010 al 2020, las plataformas de TerraClimate y Chirps no presentan tendencia de cambio, mientras que en la estación Alao se presenta un valor de -0,015 en el mes de septiembre con tendencia significativa decreciente, como se muestra en la tabla 24, figura 28 y 29.

Figura 28. Tasa de cambio de precipitación del mes de septiembre

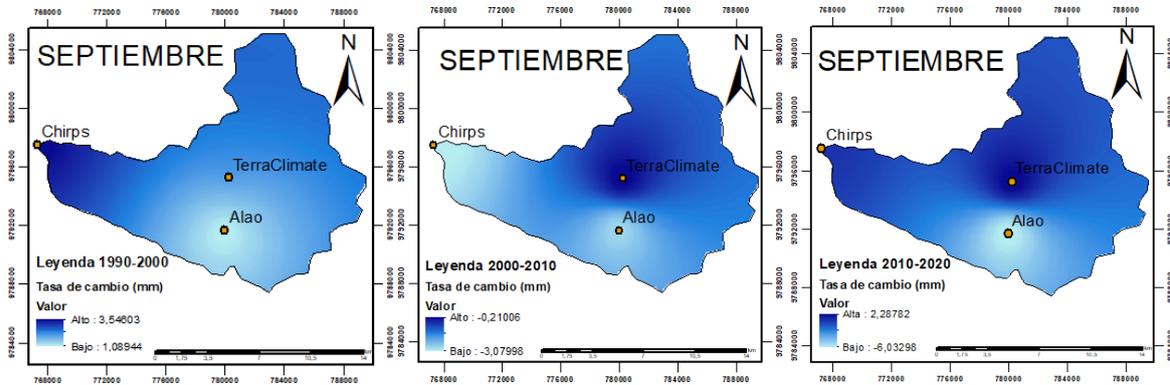
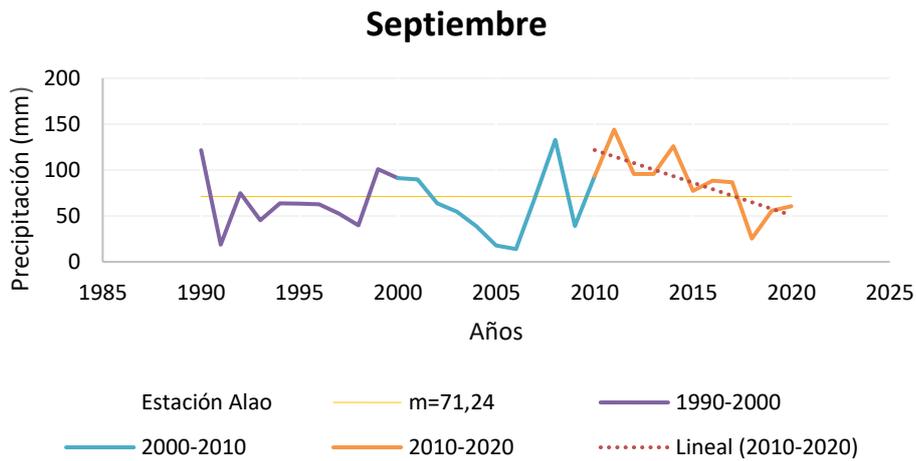


Figura 29. Serie temporal tendencia de Mann Kendal del mes de septiembre de 2010 al 2020



Magnitud de tendencia de precipitación

En la tabla 25, 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 25. 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

Durante el subperiodo de 1990 al 2000 muestran tendencia de cambio positivo durante la mayoría de los meses del año el cual coinciden con los meses lluviosos que especialmente se encuentra entre febrero - mayo, sin embargo, el mes de octubre presenta tendencias de cambio negativa el cual se evidencia un descenso en cuanto a las precipitaciones.

En cuanto al subperiodo del 2000 al 2010, se visualiza que la mitad del año existe tendencia de cambios negativas entre los meses entre febrero- mayo y septiembre, afectando al régimen lluviosos de la zona. Lo contrario entre 2010 al 2020 la tendencia de cambio positiva solo se presenta en los meses de junio y diciembre, más en el resto del año presentan tendencia de cambio negativo, dicho cambio afecta negativamente la generación y la disponibilidad del agua, que representa la oferta hídrica de la cuenca del río Alao.

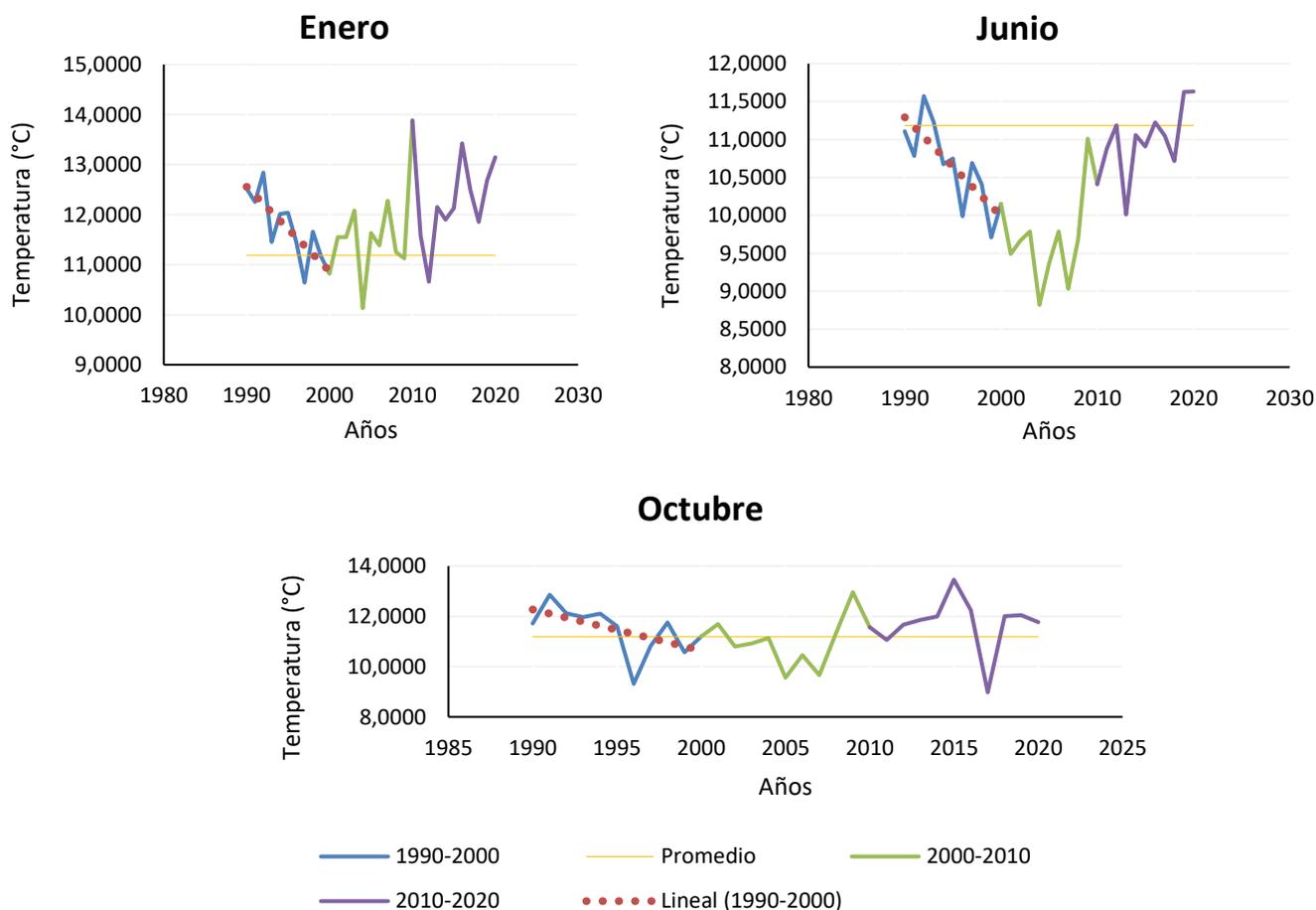
Análisis de Variabilidad de Temperatura de los meses significativo

En el subperiodo de 1990 hasta 2000, los meses de enero, marzo, mayo, junio, octubre y noviembre, presenta una tendencia negativa, por la cual la disminución de grados de temperatura es significativamente en este periodo, tal y como se muestra en la tabla 26 y figuras 30 y 31.

Tabla 26. 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 30. Serie temporal tendencia de Mann Kendal mensual de 1990 al 2000



Durante el subperiodo de 2000 al 2010 no se presenta ninguna tendencia de cambios significativa tal y como se muestra en la tabla 27.

Tabla 27. Tendencia Mann Kendall para 2000 al 2010

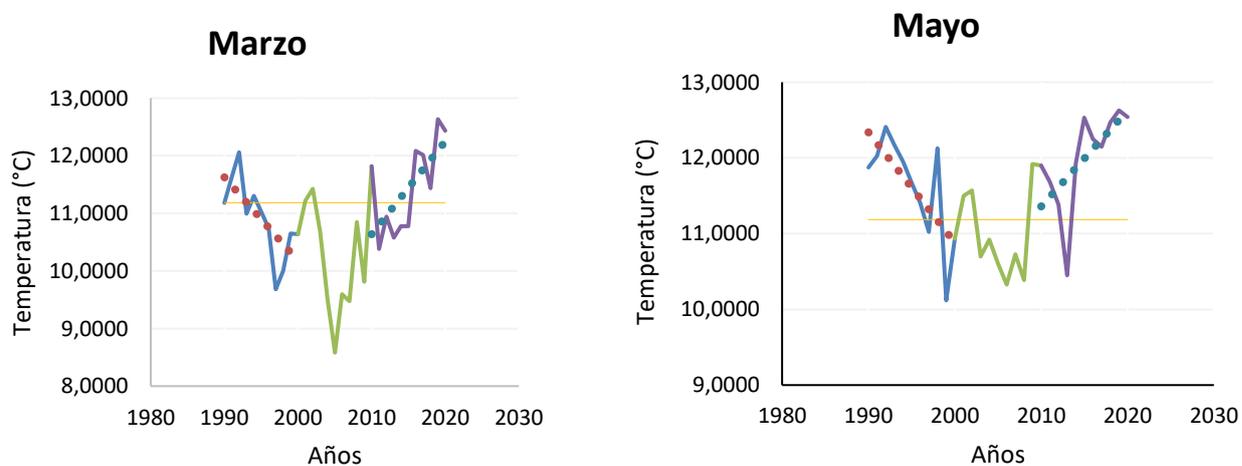
Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
TerraClimate	⇒	⇒	⇒	⇒	⇒	⇒	⇒	⇒	⇒	⇒	⇒	⇒
Leyenda	Sin tendencia ⇒			Tendencia Decreciente ↓			Tendencia Creciente ↑					

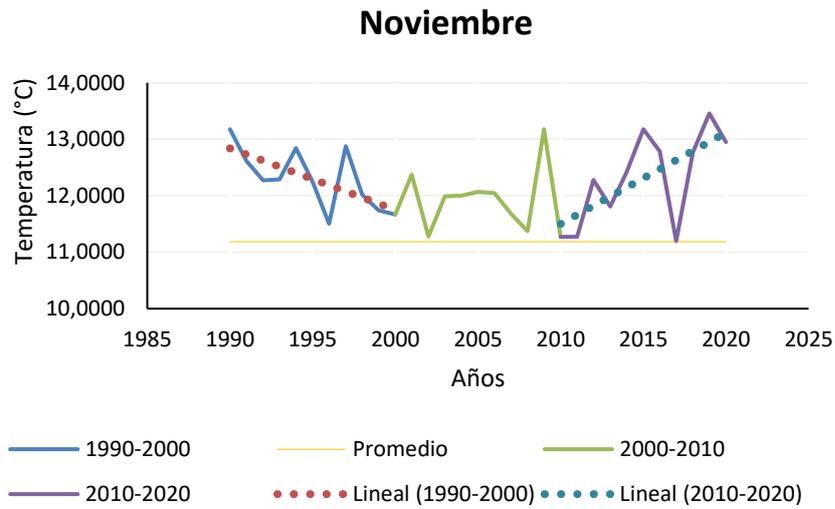
Mientras que en las figuras 31 y tabla 28 se muestra que en el subperiodo 2010 al 2020 se presenta que los meses de marzo, mayo y noviembre presentan tendencias positivas, esto quiere decir que en este subperiodo el incremento de la temperatura fue significativo.

Tabla 28. 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 ↑						

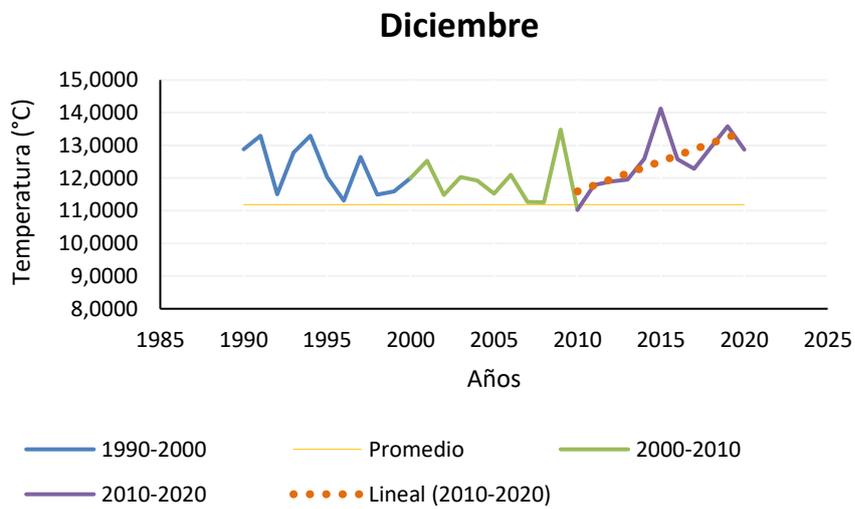
Figura 31. Serie temporal tendencia de Mann Kendal mensual de 1990 al 2020





En el mismo periodo en el mes de diciembre, se puede apreciar una tendencia positiva, esto quiere decir que la temperatura tuvo un incremento significativo en este subperiodo como se muestra en la figura 32.

Figura 32. *Serie temporal tendencia de Mann Kendal mensual de 2010 al 2020*



Magnitud de tendencia de temperatura.

En la tabla 29, se muestra la magnitud de la tasa de cambio interanual (grados centígrados) de temperatura mensual de la plataforma satelital TerraClimate para cada uno de los tres subperiodos.

Tabla 29. 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 <input type="checkbox"/>				Tendencia Creciente <input type="checkbox"/>			

Durante el subperiodo de 1990 al 2000 las tendencias de cambio son negativos en todos los meses del año predominando un clima frío, mientras que entre 2000 al 2010 se presenta variaciones en las tendencias de cambio negativas en los meses de marzo, abril, mayo, noviembre y diciembre, el resto de los meses presentan tendencias positivas. Por otro lado, entre 2010 al 2020 se presentan cambios a lo largo de los meses con tendencias de cambio positivas, por lo que el aumento de la temperatura ha sido notable en los últimos años.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

Se logró obtener información de las variables climáticas (temperatura y precipitación) en el formato y orden requerido, lo que permitió escoger la estación meteorológica y plataformas más cercanas a la realidad de la microcuenca, cabe mencionar que, el problema principal fue la ausencia de estaciones meteorología dentro de la zona estudiada a causa de ello la falta de información, por lo tanto, el uso de plataformas satelitales fue de gran importancia para la creación de la base de datos.

Se obtuvo una base de datos adecuada para las variables de precipitación y temperatura en la zona de estudio, gracias a los datos satelitales y el método del vector regional se logró completar los datos faltantes mediante el software Chac. Además, se verificó que la aplicación de la metodología fue eficiente, ya que se rellenaron los datos de la estación meteorológica Alao obteniendo una correlación de datos con alta confiabilidad de las variables estudiadas. Por ende, la combinación de datos de la estación meteorológica Alao con plataformas satelitales de TerraClimate y Chirps proporcionó una visión más completa de las condiciones climáticas en la microcuenca, ya que, incluir datos históricos de precipitación y temperatura permitió comprender las tendencias de cambio durante 30 años.

A partir del análisis utilizando los estadísticos no paramétricos de Pettit y Mann-Kendall, se identificó la variabilidad climática a través de cambios de media y tendencias de cambio, divididos mensualmente en tres períodos. Se concluye que, en la precipitación, los meses con cambios significativos son mayo, junio, agosto, septiembre, octubre y diciembre, mostrando tendencias ascendentes, lo que indica un aumento en la cantidad de lluvia en los subperíodos de 1990 al 2000 y 2000 al 2010, mientras que en el superior de 2010 al 2020 esta tendencia baja mostrando una disminución significativa de lluvias. En cuanto a la temperatura, los meses con cambios significativos son enero, marzo, mayo, junio, octubre, noviembre y diciembre, presentando en su mayoría tendencias descendentes, lo que refleja temperaturas más bajas durante el período de 1990 al 2000. Sin embargo, en el período de 2010-2020, la temperatura tiende a aumentar significativamente.

Concluyendo que, a través de los años tanto la precipitación presenta una tendencia de cambios negativos, lo que refleja en la zona disminución en cuanto a los mm de precipitación, similar con la temperatura la cual presenta un clima cambiante donde se visualiza un aumento de estas, sobre todo afectando a la oferta hídrica para la parroquia de Pungalá.

5.2 RECOMENDACIONES

Para llevar a cabo este tipo de investigaciones, es crucial disponer de una base de datos adecuada en las estaciones meteorológicas. Estos registros deben ser precisos y, prioritariamente completos. Además, se debe incrementar el número de estaciones meteorológicas para mejorar la cobertura de datos de la parroquia.

Realizar investigaciones sobre la variación del clima es importante para comprender los cambios del entorno, permitiendo desarrollar planes, estrategias y mecanismos para reducir los efectos de las actividades humanas en el ambiente, enfocada en la gestión adecuada del agua, que es fundamental para el desarrollo adecuado de la vida. De igual forma facilitan la socialización de información a la ciudadanía acerca de estos fenómenos, con el fin de fomentar una mayor conciencia social respecto al manejo y respeto hacia el ambiental.

Para entender cómo la variabilidad climática influye en una zona es recomendable realizar un análisis de más variables climáticas, como evapotranspiración, humedad, radiación solar, entre otras, con datos de más de 30 años, para así establecer una base de datos más sólida y completa lo que permitirá tomar medidas de adaptación ante el cambio climático.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abatzoglou, J. T., Dobrowski, S. Z., Parks, S. A., & Hegewisch, K. C. (2018). TerraClimate, a high-resolution global dataset of monthly climate and climatic water balance from 1958-2015. *Scientific Data*, 5. <https://doi.org/10.1038/sdata.2017.191>
- Aminikhanghahi, S., & Cook, D. J. (2017). A survey of methods for time series change point detection. *Knowledge and Information Systems*, 51(2), 339–367. <https://doi.org/10.1007/s10115-016-0987-z>
- AEMET, & OECC. (2021). *Guía Resumida Del Sexto Informe De Evaluación Del Ipcc Grupo De Trabajo I Cambio Climático: Bases Físicas oecc Oficina Española de Cambio Climático*.
- Barreiro, M., Arizmendi, F., Díaz, N., & Trinchin, R. (2021). *Análisis de la variabilidad y tendencias observadas de los vientos en Uruguay*.
- Bell, B., Hersbach, H., Simmons, A., Berrisford, P., Dahlgren, P., Horányi, A., Muñoz-Sabater, J., Nicolas, J., Radu, R., Schepers, D., Soci, C., Villaume, S., Bidlot, J. R., Haimberger, L., Woollen, J., Buontempo, C., & Thépaut, J. N. (2021). The ERA5 global reanalysis: Preliminary extension to 1950. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 147(741), 4186–4227. <https://doi.org/10.1002/qj.4174>
- Bustamante, D. P. (2017). Escenario De Cambio Climático A Nivel De Subcuencas Hidrográficas Para El Año 2050 De La Provincia De Chimborazo- Ecuador. *La Granja*, 26(2), 15. <https://doi.org/10.17163/lgr.n26.2017.02>
- Ccori, G. (2019). *Modelación en WEAP y RS Minerve para la Proyección Hidrológica Futura de la Microcuenca Mchique-Sincos-Huancayo*. Universidad Nacional Agraria la Molina.
- CEDEX. (2021). *Cálculo Hidrometeorológico de Aportaciones y Crecidas (CHAC) Manual*.
- Crespo, W. (2016). *Análisis de la Variabilidad Espacial y Temporal de la Precipitación en la Cuenca del Río Pampas de 1975 al 2014*.
- De La Puente, C. (2018). *Estadística descriptiva e inferencial Ediciones Idt Business Analytics Big Data Informacion Conocimiento Ruido* (IDT CB Madrid).
- Espinosa, J. C., Ronchail, J., Guyot, J. L., Cochonneau, G., Filizola, N., Lavado, W., de Oliveira, E., Pombosa, R., & Vauchel, P. (2009). Spatio-temporal rainfall variability in the Amazon basin countries (Brazil, Peru, Bolivia, Colombia, and Ecuador).

- International Journal of Climatology*, 29(11), 1574–1594.
<https://doi.org/10.1002/joc.1791>
- Funk, C., Peterson, P., Landsfeld, M., Pedreros, D., Verdin, J., Shukla, S., Husak, G., Rowland, J., Harrison, L., Hoell, A., & Michaelsen, J. (2015). The climate hazards infrared precipitation with stations - A new environmental record for monitoring extremes. *Scientific Data*, 2, 2. <https://doi.org/10.1038/sdata.2015.66>
- GAD Parroquial Pungalá. (2019). *PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE LA PARROQUIA PUNGALÁ 2019-2023*.
- Gámez, R. (2020). *¿Qué es la Temperatura?* Universidad Nacional Autónoma de México, México
- Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Hirahara, S., Horányi, A., Muñoz-Sabater, J., Nicolas, J., Peubey, C., Radu, R., Schepers, D., Simmons, A., Soci, C., Abdalla, S., Abellan, X., Balsamo, G., Bechtold, P., Biavati, G., Bidlot, J., Bonavita, M., ... Thépaut, J. N. (2020). The ERA5 global reanalysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 146(730), 1999–2049. <https://doi.org/10.1002/qj.3803>
- Hersbach, H., Bell, B., Biavati, Horányi, A., Muñoz Sabater, Peubey, Radu, & Schepers. (2018, June 14). *ERA5 hourly data on single levels from 1940 to present*.
- Hiez, & Rancan. (1983). Aplicação do Método do Vetor Regional no Brasil. *Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, 205–227.
- Hishaam, N., Amri, M., Dasuki, A., Azizi, M., Azaman, F., Zainal, I., & Hairoma, N. (2015). *Trend Analysis Of Pahang River Using Non-Parametric Analysis: Mann Kendall's Trend Test*.
- Hodson, T. O. (2022). Root-mean-square error (RMSE) or mean absolute error (MAE): when to use them or not. *Geoscientific Model Development*, 15(14), 5481–5487. <https://doi.org/10.5194/gmd-15-5481-2022>
- IPCC. (2014). *Cambio climático 2014 Equipo principal de redacción Equipo principal de redacción Unidad de apoyo técnico para el Informe de síntesis*. <http://www.ipcc.ch>.
- IPCC. (2021). *Contribución del Grupo de Trabajo I al Sexto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*: <http://www.ipcc.ch>
- La Riva. (2020). *Análisis de los efectos de los cambios en la temperatura sobre la seguridad alimentaria de los hogares peruanos*.

- Lambrecht, Y., Montico, A., & Picone, N. (2024). Validación de Precipitación Estimada por CHIRPS en una Región Semiárida de Argentina. *Boletín Geográfico*, 46, 1–16. <http://id.caicyt.gov.ar/ark:/s2313903x/ykja7shwa>.
- Matus, S. S., Gil, M., Blanco, E., Llavona, A., & Naranjo, L. (2020). Desafíos hídricos en Chile y recomendaciones para el cumplimiento del ODS 6 en América Latina y el Caribe 198 Recursos Naturales Y Desarrollo. CEPAL. www.cepal.org/apps
- MAE. (2019). *Primera Contribución Determinada a nivel nacional para el Acuerdo de París bajo la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático. En Gobierno de Ecuador*.
- MAATE. (2023). *Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático del Ecuador*. www.ambiente.gob.ec
- Pérez, N. A., Mullo, S., & Marcatoma, J. A. (2020). Resumen Abstract 4. *Perfiles*, 23.
- Perilla, G., & François, J. (2020). Google Earth Engine - GEE: A powerful tool linking the potential of massive data and the efficiency of cloud processing. *Investigaciones Geográficas*, 101. <https://doi.org/10.14350/ig.59929>
- Rodríguez, L. (2020). *Manual de Usuario Básico Manual de Usuario Básico Base de Datos Hidrológica Hydraccess Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología*.
- Saucedo, G. I., Kurtz, J., Contreras, J., & Félix I. (2023). Validación de Precipitaciones Estimadas Mediante Satélites para Dos Estaciones de la Provincia de Corrientes (República Argentina). *Contribuciones Científicas GAEA*, 35(1).
- Shi, H., Li, T., Wei, J., Fu, W., & Wang, G. (2016). Spatial and temporal characteristics of precipitation over the Three-River Headwaters region during 1961-2014. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 6, 52–65. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2016.03.001>
- Smith, J. (2024, June 10). *La nueva aplicación del Proyecto de Predicción de Recursos Energéticos Mundiales (Power) de la NASA reemplaza su anterior Visor de Acceso a Datos*. Earth Data. <https://www.earthdata.nasa.gov/news/power-releases-new-data-access-viewer-enhanced>
- Truong, C., Oudre, L., & Vayatis, N. (2020). Selective review of offline change point detection methods. *Signal Processing*, 167. <https://doi.org/10.1016/j.sigpro.2019.107299>
- Villagarcía, T. (2018). *Series Temporales*.

ANEXOS

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

The image displays two screenshots from the ClimateEngine.org platform. The top screenshot shows a satellite map of a region in Central America, with a black outline indicating a specific area of interest. The map includes labels for various locations such as Aguas Termales, San Francisco, LAGUNA DE GUILINKAS, Pungual, La Tiendita M.J., Alao, and Cusullin. A 'POWER Single Point' data viewer is overlaid on the map, providing information about the 'MGA Prediction of Renewable Energy Resource (POWER)' and offering options to download data or view it in a figure. The bottom screenshot shows the 'Asset details' page for a table named 'Prec_Alao'. It includes a map of the region, a description field (currently empty), and a list of properties: Table ID (users/lvannioisgarcia3/Prec_Alao), Date (Start and End dates are NA), File Size (8.82KB), Number of Features (1), and Last modified (2023-12-26 03:13:35 UTC). To the right, a 'Figure' view shows a line graph titled 'Precipitation (TerraClimate)' with 'Available Data from Jan 1990 to Dec 2020'. The graph plots precipitation in millimeters (mm) on the y-axis (0 to 600) against time on the x-axis (Jan 1990 to Jan 2020). A 'Download' button is present, and a data link '70.6275749231' is shown.

Anexo 2. Datos de la estación de Alao obtenidos del INAMHI

Alao M396													Total
X		Y		Altitud									
77982,2		9791632		3200									
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septieml	Octubre	Noviemt	Diciemb	
1990	62	47,9	61,3	83,1	67,4	134,8	74,3			102,5	64,4	37,5	735,2
1991	28	54,8	58,9	54,8	95,4	80,3		63,5	18,8	50	68,3	22,7	595,5
1992	45,3	79,2	96,1	116,1	68,9	57,2	94,4	42,8	75	27,7	54,6	24,4	781,7
1993	49,7	69,3	183,5	107,2	11,6	74,1	130,7	68,9	45,4	78,3	46,3	75,1	940,1
1995	35,9	32,3	32,6	88,5	76	73,8	165,1	48,6	63,6		84,5		700,9
1996	77,7	130,1	70,3	73,9	65,4	54,1	83,5	78,3	62,7	46,8	23,7	24,1	790,6
1997	27,6	121,5	55,8	92,1	69,4	69,7	68,5	37,1		31,4	118,6	47,7	739,4
1998	34,2	69	79,4	130,1	82,5	116,9	134,7	74,7	39,9	101,2	20,7	12,2	895,5
1999	43,2	102,1	98,8	176,6		125,6	82,9	83,3	101	49,4	42	106,5	1011,4
2000	71,2	105,8	78,9	112,7	228,7	108,5	48,7	89,2	91,4	13,1	24,6	93,6	1066,4
2001	49,3	68,3	88,8	92,6	132,9	115,6	68,2	59,6	89,8	10,6	76	46,5	898,2
2002	34,4	57,6	46	128,4	81,4	93	65,5	9,2			105	46,2	666,7
2003	75,7	48,6	57,6	126,8	86,2		85,4	21,9		71,2	88,2	75,2	736,8
2004		57,7	100,2	128,2	91,8	66,3	133,7	44,1	38,7	126,8	112,3	59,7	959,5
2005	24,9	101,6	128,9	124,5	71,3		37,5	16,5	17,9	68,1	33,5	103,9	728,6
2006	35	53,6	57,1	109,5	50,6	16,2	3,4						325,4
2007				76,2	84,2	188,6	52,5	149,7	72	58	103,2	99,2	883,6
2008	103,5	132,4	84,1	122,9	137,7	138	176,3	120,9	132,9	165,5	108,9	27,4	1450,5
2009	122,6	122,4	106,3	0		119,1	173,5	109,8	39,2	148,3	8,9	69,2	1018,3
2010		25,2	126,5	158,5	215,4	219,8	130,1	89,2	93,2	174,7	177,2	215,9	1625,7
2011	105,3	185,3	86,6	252,8	159,1	219,2	283,7	85	144,1	77,2	532,7	201,3	2332,3
2012	154,2	76,3	96,7	198,6	232,6	94,8	135,4	100,2	95,8	153,5	92,5	71,7	1502,3
2013	98,7	145,1	105,4	80,6	111,5	78,5	169,2	36,9	95,8	63	95,3	21,7	1101,7
													977,6652

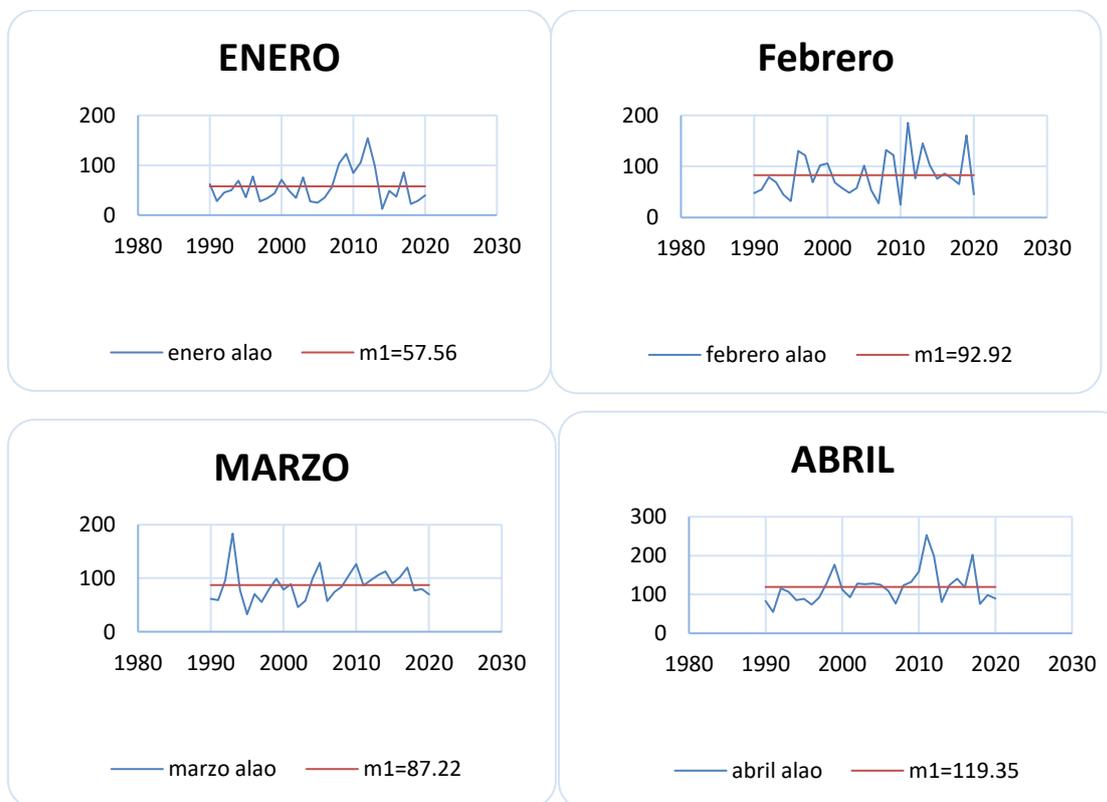
Anexo 3. Datos de la estación meteorológica Cebadas obtenidos del INAMHI

Cebadas M395													Total
X		Y		Altitud									
762446,1		9788953		2930									
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septieml	Octubre	Noviemt	Diciemb	
1990	2	74,3	0	101,6	96,1	35,7	1,1	0	8	120,2	29,5	29,8	498,3
1991	6,4	49,5	185,6	63,8	162,1	28,7	4,4	20,4	0	2,6	48,8	3,1	575,4
1992	0	47,5	46,9	128	42,9	19	8,7	26,5	6,2	11,1	11,2	8	356
1993	34,4	115,8	304,3	253,9	57,3	2,9		10,7	12,1	30,1	9,9	78,8	910,2
1994													0
1995	6,8	37,2	59,3	78,8	29,4	14,7	50,4	26,1	2,1	21,2	124,3	49,2	499,5
1996	33	272,9	95,1	116,5	82,7	19,3	27,7	8,4	16,1	26,9	20,1	53,7	772,4
1997	50,4	21,4	98,8	36	9	31,4	21,1	1		12,6	88,9	72,2	442,8
1998	24	59,5	81,7	106,2	173,9	47,7	84,2	72,1	6,4	35	54,6	22,5	767,8
1999	48,9	202,3	226,5	194,8	180,3	96	15,3	18	119,7	15,5	10,8	44,6	1172,7
2000	74,8	99,3	123	119,1	221,7	89,1	8	9,8	54,1	0	7,2	62,3	868,4
2001	93,5	36,8	150,2		67,3	83,2	30,7	18,9	13,6	8,2	43,8	32,2	578,4
2002	15,6	36,3	56	124,3		49,8	21	3,3	0,9		89,6	51,9	448,7
2003	13	39,4	38,2	105,4	6,7	42	32,4	0	12,1	22,4	57,3	37,6	406,5
2004	13,8	34,9	26,2	94,8	140,5	10,1	26,3	9,9	36,9	71	100,1	77,7	642,2
2005	7,1	28,5	114,9	134,6	28	27,6	2,3	2,3	44,9	53,6	3,3	98	545,1
2006	46,8	40,8	125,7	68,4	6,8	44,1	2,1	19,9	8,9	35,1	105,4	95,5	599,5
2007	49,5	25,9	113,3	105,8	61,3	103,8	29,4	65,1	3,5	64,6	78,2	30,8	731,2
2008	73,9	107,2	92,4	57,5	108,4	41,6	21,2	15,3	11,2	31	40	26	625,7
2009	56,9	62,3		39,2	35,3	51	29,8	34,7	27,2		7,3	23,5	367,2
2010	3,5	34,9	38,6	69,5	77,9	50,5	52,9	23,5	27,1			124,9	503,3
2011	52,8	116,1	80,9	286,6	59,5	33,1	104,3	19,3	27,5	94,7	91,1	54,5	1020,4
2012	96,5	67,7	28,4	223,5	29,3	12,5	16,6	6,9	8,5	51,2	30	4,6	575,7
2013	44,1	50,5	28,7	31,3	157,3	23	61	6,1	12,8	47,8	49,9	66,5	579
													603,6

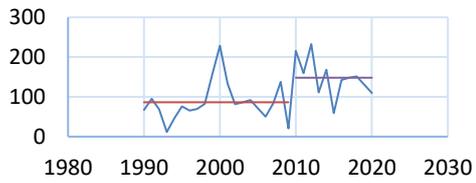
Anexo 4 . Relleno de datos de la estación meteorológica Alao

Código	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago.	Sep.	Oct	Nov	Dic	Annual
Alao	1990	62	47,9	61,3	83,1	67,4	134,8	74,3	65,8	75,2	102,5	64,4	37,5	876,2
Alao	1991	28	54,8	58,9	54,8	95,4	80,3	33,8	63,5	18,8	50	68,3	22,7	629,3
Alao	1992	45,3	79,2	96,1	116,1	68,9	57,2	94,4	42,8	75	27,7	54,6	24,4	781,7
Alao	1993	49,7	69,3	183,5	107,2	11,6	74,1	130,7	68,9	45,4	78,3	46,3	75,1	940,1
Alao	1994	39	100,5	55	194,4	131,4	0	150	53,8	45	89,1	124,8	32,5	1015,5
Alao	1995	35,9	32,3	32,6	88,5	76	73,8	165,1	48,6	63,6	63,2	84,5	20,2	784,3
Alao	1996	77,7	130,1	70,3	73,9	65,4	54,1	83,5	78,3	62,7	46,8	23,7	24,1	790,6
Alao	1997	27,6	121,5	55,8	92,1	69,4	69,7	68,5	37,1	57	31,4	118,6	47,7	796,4
Alao	1998	34,2	69	79,4	130,1	82,5	116,9	134,7	74,7	39,9	101,2	20,7	12,2	895,5
Alao	1999	43,2	102,1	98,8	176,6	109,5	125,6	82,9	83,3	101	49,4	42	106,5	1120,9
Alao	2000	71,2	105,8	78,9	112,7	228,7	108,5	48,7	89,2	91,4	13,1	24,6	93,6	1066,4
Alao	2001	49,3	68,3	88,8	92,6	132,9	115,6	68,2	59,6	89,8	10,6	76	46,5	898,2
Alao	2002	34,4	57,6	46	128,4	81,4	93	65,5	9,2	97,6	126,1	105	46,2	890,4
Alao	2003	75,7	48,6	57,6	126,8	86,2	52,8	85,4	21,9	0,7	71,2	88,2	75,2	790,3
Alao	2004	18,1	57,7	100,2	128,2	91,8	66,3	133,7	44,1	38,7	126,8	112,3	59,7	977,6
Alao	2005	24,9	101,6	128,9	124,5	71,3	114,6	37,5	16,5	17,9	68,1	33,5	103,9	843,2
Alao	2006	35	53,6	57,1	109,5	50,6	16,2	3,4	19,8	59,8	187,3	103,1	89,2	784,6
Alao	2007	120,4	0	152,7	76,2	84,2	188,6	52,5	149,7	72	58	103,2	99,2	1156,7
Alao	2008	103,5	132,4	84,1	122,9	137,7	138	176,3	120,9	132,9	165,5	108,9	27,4	1450,5
Alao	2009	122,6	122,4	106,3	0	67,2	119,1	173,5	109,8	39,2	148,3	8,9	68,2	1085,5
Alao	2010	43,3	25,2	126,5	158,5	215,4	219,8	130,1	89,2	93,2	174,7	177,2	215,9	1669
Alao	2011	105,3	185,3	86,6	252,8	159,1	219,2	283,7	85	144,1	77,2	532,7	201,3	2332,3
Alao	2012	154,2	76,3	96,7	198,6	232,6	94,8	135,4	100,2	95,8	153,5	92,5	71,7	1502,3
Alao	2013	98,7	145,1	105,4	80,6	111,5	78,5	169,2	36,9	95,8	63	95,3	21,7	1101,7
Alao	2014	55,5	75,7	90,6	77,8	126,6	61,7	80,8	103,5	90,8	109,9	120	36	1028,9
Alao	2015	86,3	45,7	144,4	145,8	28,5	127	144,8	50,9	72,1	23,9	162,2	35,2	1066,8
Alao	2016	8	125,7	43,8	176,3	52,3	4,9	159,9	16,7	143,7	94,9	39,7	72,3	938,2
Alao	2017	25,2	77,9	85,3	67	143,6	327,9	16,7	0	57	125,1	13,2	108,4	1047,3
Alao	2018	58,8	49,4	101,5	121,1	162,4	172,7	75,8	126,8	12,9	144,3	159,8	131	1316,5
Alao	2019	53,2	92,5	102,5	79,4	130,3	135,4	63,1	49,8	81,8	73,3	118,8	127,5	1107,6
Alao	2020	85,8	97,4	107,3	106,6	163	58,2	293,3	125,1	24,2	62,4	116,8	91,1	1331,2

Anexo 3. Prueba de Pettit mensual, series temporales de 1990 al 2020

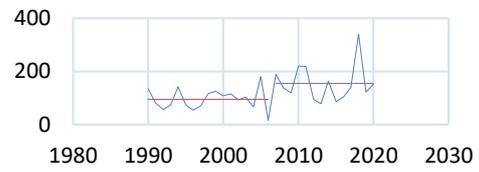


MAYO



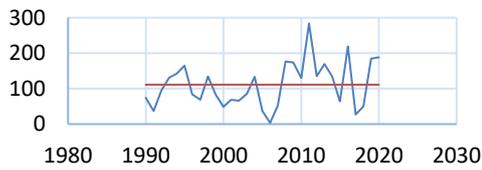
— mayo alao — m1 — m2

JUNIO



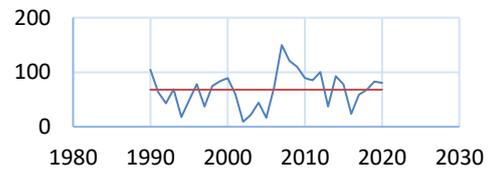
— junio alao — m2 — m1

JULIO



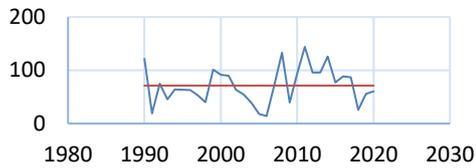
— julio alao — m1=111.12

AGOSTO



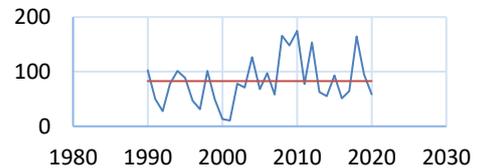
— agosto alao — m1=67.94

SEPTIMBRE



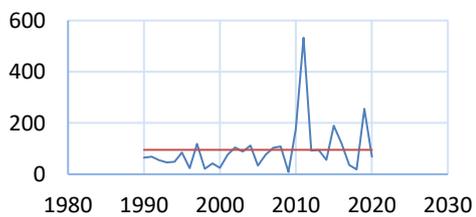
— septiembre alao — m1=71.24

OCTUBRE



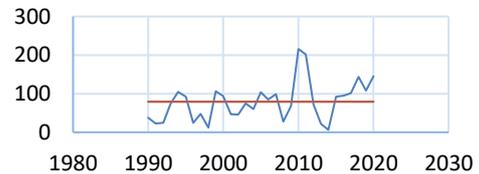
— octubre alao — m1=82.72

NOVIEMBRE



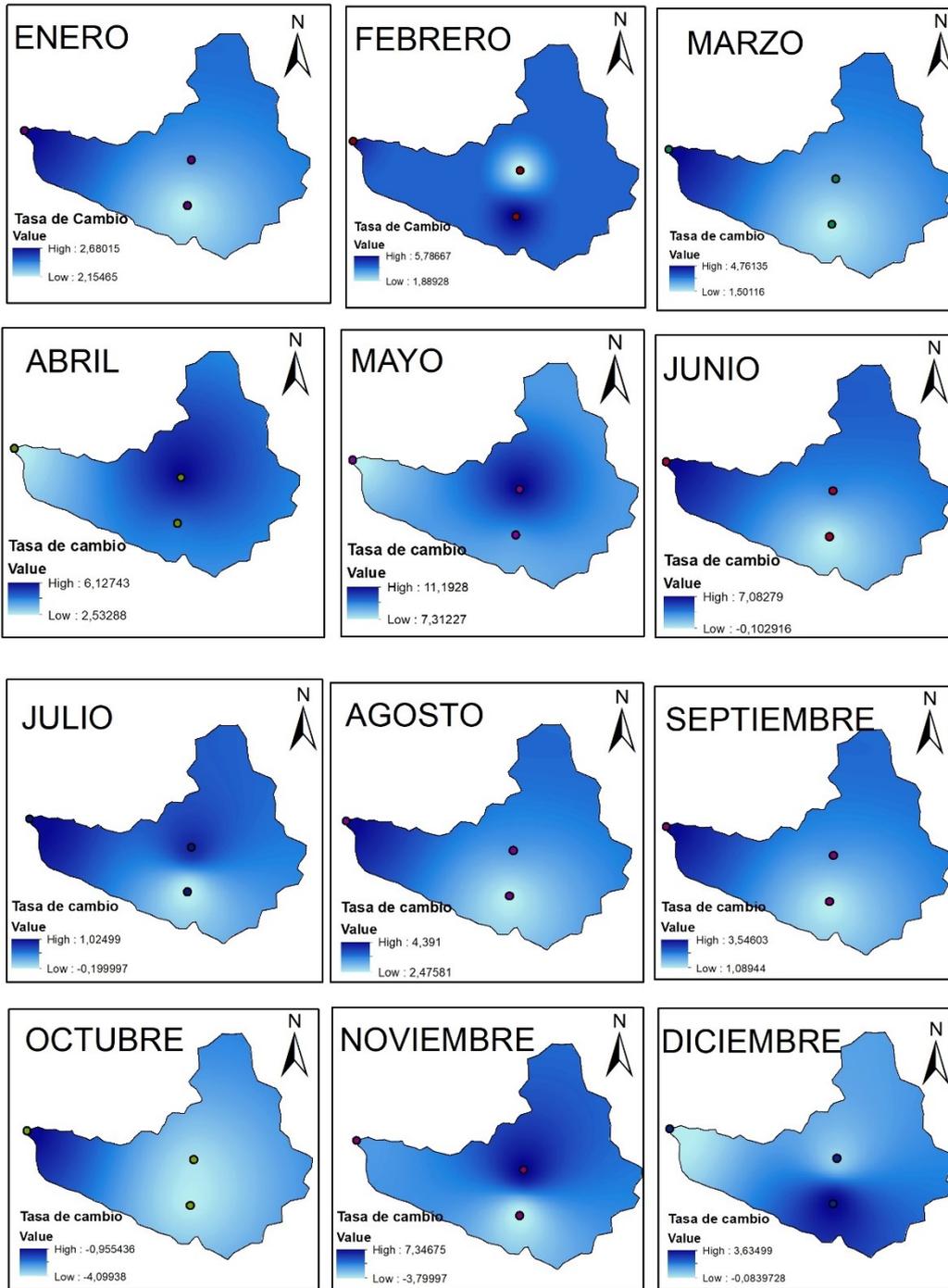
— noviembre alao — m1=95.26

DICIEMBRE

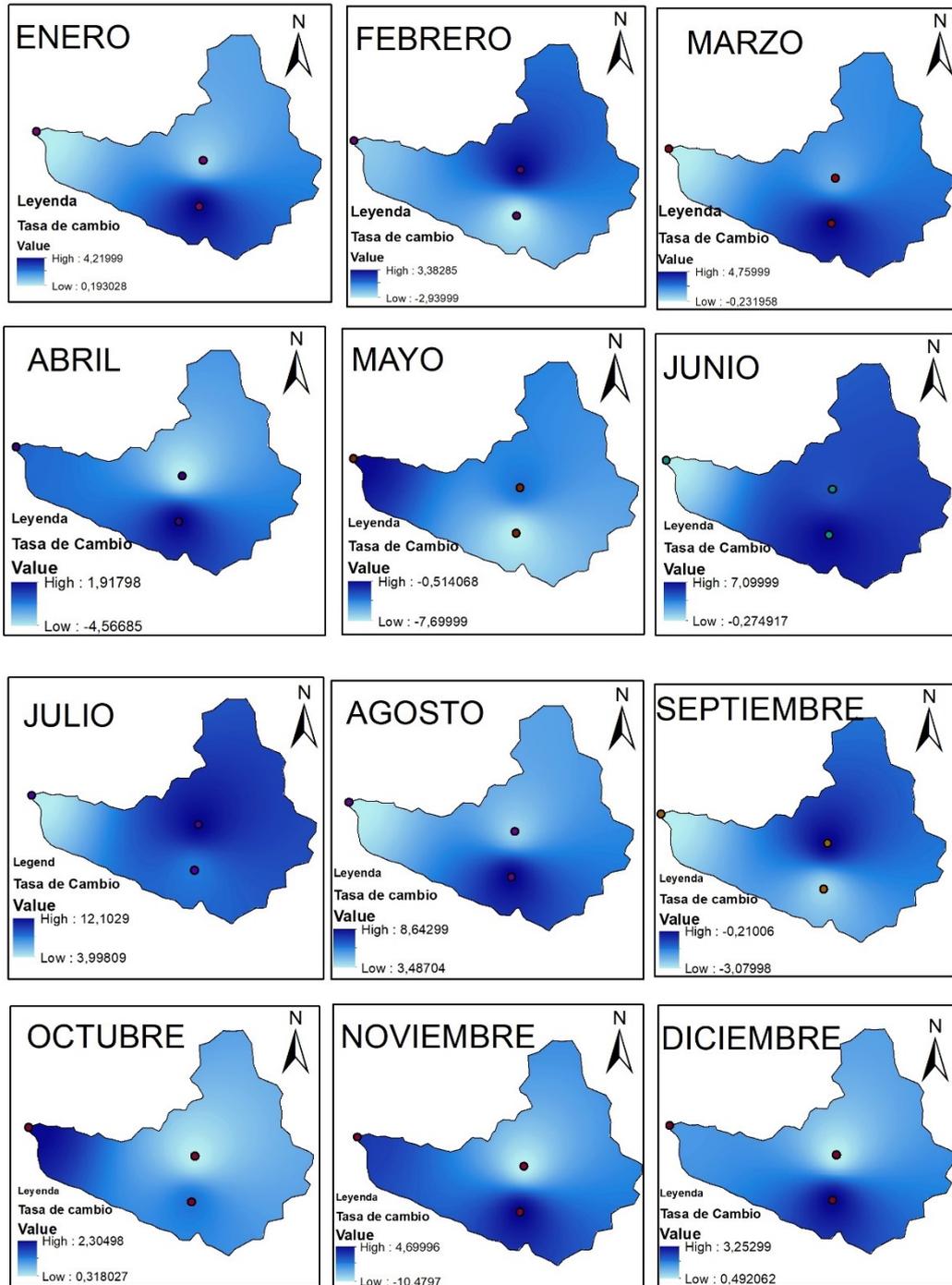


— diciembre alao — m1=79.17
— m1=79.17

Anexo 4. Tasa de cambio de precipitación del periodo 1990 ala 2000



Anexo 5. Tasa de Cambio de precipitación del periodo 2000 al 2010



Anexo 6. Tasa de Cambio de precipitación del periodo 2010 al 2020

