UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE QUITO

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

PROYECCIONES DE LOS ÍNDICES DE CAMBIO CLIMÁTICO EN LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA, AL AÑO 2070

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero Ambiental

AUTOR: JONATHAN ALEXIS CHUQUI GONZÁLEZ

TUTOR: MARÍA SHEILA FABIOLA SERRANO VINCENTI

Quito, Ecuador
2022

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Jonathan Alexis Chuqui González con documento de identificación No 1724184799 manifiesto que:

Soy el autor responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 13 de julio del año 2022

Atentamente,

Jonathan Alexis Chuqui González
1724184799

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Yo, Jonathan Alexis Chuqui González con documento de identificación No. 1724184799, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Trabajo Experimental: "Proyecciones de los índices de Cambio Climático en la Provincia de Tungurahua, al Año 2070", el cual ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniero Ambiental, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega final del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 13 de julio del año 2022

Atentamente,

Jonathan Alexis Chuqui González
1724184799

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, María Sheila Fabiola Serrano Vincenti con documento de identificación No 1710267574, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: PROYECCIONES DE LOS ÍNDICES DE CAMBIO CLIMÁTICO EN LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA, AL AÑO 2070, realizado por Jonathan Alexis Chuqui González con documento de identificación No 0123456789, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Trabajo Experimental que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 13 de julio del año 2022

Atentamente,

.....

Fis. María Sheila Fabiola Serrano Vincenti M.Sc.

1710267574

DEDICATORIA

A mi madre Sandra González por ser mi ejemplo y brindarme todo su apoyo incondicional durante toda mi carrera universitaria para poder seguir adelante, su cariño y consejos me han servido para alcanzar mi meta anhelada ya que sin ella no hubiera sido posible en el camino para forjarme como un buen profesional.

A mi hermana Alisson Chuqui, por estar siempre para conmigo y darme su confianza y que sepa que siempre va a contar con mi apoyo, para mi hermana Berenice González que desde el cielo me ha bendecido para poder continuar día a día.

A mis abuelitos José González y María Jadan por acompañarme durante toda mi formación académica y estar en cada momento importante para mí.

A mi familia, Tíos, Primos, especialmente a Jessica Jadan, Maycol Jadan, Mariela Tigasi.

En este agradecimiento quiero expresar mi gratitud infinita a Verónica Live, al ser una persona única y maravillosa que tengo la oportunidad de conocer y siempre me ha brindado su apoyo incondicional me ha animado a seguir adelante en todo momento además de que siempre contara conmigo. “Tú mismo” ...

A Brown, Pepe y Chester, al ser mis compañeros perrunos que me acompañaron durante toda mi etapa en la universidad.

Jonathan Ch.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Politécnica Salesiana, especialmente a todos los docentes de la carrera de Ingeniería Ambiental por su aporte en nuestra formación académica en cada etapa de la carrera.

Un agradecimiento especial a mi tutora, Fis. Sheila Serrano por haberme dado la oportunidad de realizar el presente trabajo, ser guía y apoyo para el trabajo experimental solventar todas mis dudas y permitirme culminar con éxito.

A Dennisse L, gracias por el apoyo incondicional que siempre me has brindado para la culminación del trabajo de investigación y por ser una mejor amiga.

Un agradecimiento muy especial a Alexander P, Erika C, Pamela C, por ser personas maravillosas que conocí durante nuestra formación académica y gracias por siempre apoyarme.

A mis amigos con los que empezamos la universidad y a los que fui conociendo mientras avanzaba gracias por el apoyo incondicional: José Luis C, Bryan C, Bryan V, Cristian M, Jaime A, Josué C y Stalin C.

Jonathan Ch.

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN ..... **XIII**
ABSTRACT ..... **XIV**
1. INTRODUCCIÓN **1**
1.1. Problema **1**
1.2. Delimitación **1**
1.3. Pregunta de investigación **2**
1.4. Objetivos: **2**
1.4.1. General 2
1.4.2. Especificos 2
1.5. Hipotesis **3**
2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA **4**
2.1. Cambio climático **4**
2.1.1. Factores que causan el Cambio Climático 4
2.1.2. Impactos del Cambio Climático 5
2.1.3. Ecuador y Cambio Climático 6
2.2. Modelos de Circulación General de Cambio Climático. **7**
2.2.1. Escenarios de Cambio Climático 8
2.2.2. Tercera Comunicación Nacional Sobre Cambio Climático 9
2.2.2.1. Aplicación del Downscaling estadístico. 10
2.2.2.2. IPCC. 11
2.3. Índices recomendados por el IPCC para evaluación del cambio climático **11**
2.4. R RClimDex **13**
2.5. Efecto isla de calor urbano **14**
3. MATERIALES Y MÉTODOS **16**
3.1. Área de estudio **16**
3.2. Datos meteorológicos utilizados **18**
3.3. Datos proyectados al 2070 de la TCN **20**
3.4. Lectura de la data mensual y diaria **21**
3.4.1. Script de RStudio 21
3.4.2. Script de Python 22

3.5. Control de calidad de los datos **25**

3.6. Análisis Climatológico **26**

3.6.1. Precipitación 26

3.6.2. Temperaturas Máximas y Mínimas 28

3.6.3. Registro de Outliers y Récords 29

3.6.4. Elaboración de Cartografía 29

3.6.4.1 Con Método de Kriging para la elaboración de Isoyetas e Isotermas. 29

3.7. Análisis de índices de Cambio Climático con ClimDex **30**

3.7.1. Control de Calidad Climatológico de datos en ClimDex 31

3.7.2. Cálculo de índices de Cambio climático en ClimDex de R. 32

3.7.2.1. Uso de RClimdex. 32

3.8. Downscaling estadístico: corrección del modelo vs. dato in situ. **32**

3.9. Índices de cambio climático proyectados al año 2070 ..... **34**

4.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN **35**

4.1. Control de calidad de los datos **35**

4.2. Análisis Climatológico **36**

4.2.1. Precipitación 36

4.2.2. Temperaturas máximas y mínimas 39

4.2.3. Registro de Outliers y Récords 43

4.2.4. Análisis estadístico por estación 44

4.2.4.1 Precipitación 44

4.2.4.2 Temperatura Máxima 45

4.2.4.3 Temperatura Mínima 45

4.3. Índices de Cambio Climático sobre datos in situ. **46**

4.3.1. Índices de temperatura 46

4.3.3. Índices de Precipitación 48

4.4 Downscaling estadístico **50**

4.4.1 Comparación de datos in situ vs datos históricos modelados 50

4.4.1.1. Temperatura Máxima (°C) 50

4.4.1.2. Temperatura Mínima (°C). 52

4.4.2 Factores de corrección para el Downscaling estadístico 53

4.5.Análisis de los índices de cambio climático proyectados al año 2070 ..... **55**

4.5.1. Índices de temperatura máxima 55

4.5.1.1. TXx (Valor mensual máximo de temperatura máxima diaria [°C/año]) 55

4.5.1.2. TXn (Valor mensual mínimo de temperatura máxima diaria [◦C]) 57

4.5.1.3. Tx90p (Porcentaje de días cuando TX>90th percentil [%/año]) 58

4.5.1.4. Tx10p (Porcentaje de días cuando TX<10th percentil [%/año]) . 60
4.5.1.5. SU25 (Días Tropicales Tx>25◦ [día]) 62
4.5.2 Índices de temperatura mínima 63
4.5.2.1. TNx (Valor mensual máximo de temperatura mínima diaria [°C]). 63
4.5.2.2. TNn (Valor mensual mínimo de temperatura mínima diaria. [◦C]) 65
4.5.2.3. TR20 (Noches tropicales: número de días en un año en que la temperatura mínima supero los 20 ºC [día]) . 66
4.5.2.4. TN90p (Noches cálidas: días cuando la temperatura mínima pasa el percentil 90 [%]). 67
4.5.2.5. TN10p (Noches frías: Días cuando la temperatura mínima es menor al percentil 10. [%]). 69
4.5.2.6. DTR (Rango Diurno de temperatura Tx-Tn [◦C/año] .) 70
4.5.2.7. WSDI (Indicador de la duración de periodos calientes [día/año] .) 71
4.5.2.8. CSDI (. Indicador de la duración de periodos fríos [día/año] .) 73
4.5.3. Índices de precipitación 75
4.5.3.1. SDII (.Índice de intensidad diaria [mm/día/año] .) 75
4.5.3.2. RX5Day (Cantidad Máxima de precipitación en 5 días consecutivos [mm/año] .) 77
4.5.3.3. RX1Day (Cantidad Máxima de precipitación en un día [mm/día] .) 78
4.5.3.4. R99p (Días extremadamente lluviosos (precipitación sobre el percentil 99) [mm/año].) 80
4.5.3.5. R95p (Días muy lluviosos (precipitación sobre el percentil 95) [mm/Día/año] .) 82
4.5.3.6. R25mm (Días al año en los que la precipitación muy intensa supera los 25mm [días/año] .) 83
4.5.3.7. R20mm (Días al año con precipitación muy intensa mayor a 20mm/día [días/año] .) 85
4.5.3.8. R10mm (Días al año con precipitación intensa mayor a 10mm/día [días/año] .) 87
4.5.3.9. PRCPTOT (Precipitación total anual en los días húmedos [mm/año] .) 88
4.5.3.10. CDD (Días secos consecutivos [día/año] .) 90
4.5.3.11. CWD (Días húmedos consecutivos [día/año]) 91
4.6. Discusión 93
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 99
5.1. Conclusiones 99
5.2. Recomendaciones 100
6. BIBLIOGRAFÍA 102
7.ANEXOS 106

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Representación de los Escenarios de Cambio Climático (RCP) 8
Figura 2 Representación Gráfica del Cambio de Temperatura de los Escenarios de Cambio Climático (RCP).....9
Figura 3 Representación Gráfica para el Aumento en el Nivel el Mar de los Escenarios de Cambio Climático (RCP).....9
Figura 4 Mapa de Ubicación de las Estaciones Meteorológicas Cercanas en la Provincia de Tungurahua 17
Figura 5 Mapa de Ubicación de las Estaciones Meteorológicas Utilizadas con Datos Validos en la Zona de Estudio.....19
Figura 6 Mapa de Ubicación de las Estaciones: M0008, M0127, M0128 y M0258 de Acuerdo con el Píxel ID de los Datos Modelados.....21
Figura 7 Script de RStudio Para la Lectura de Datos 22
Figura 8 Representación Gráfica de los Archivos de Entrada y Salida de la Conversión en el Software Python.....23
Figura 9 Script de Python Para la Entrada de Datos.....23
Figura 10 Script de Python Para la Lectura de Datos 24
Figura 11 Script de Python Para la Salida de los Datos.....25
Figura 12 Series de Tiempo Antes y Después de la Identificación de datos erróneos o atípicos 26
Figura 13 Diagrama de Barras de las 4 Estaciones del Estudio para la Representación de la Precipitación 26
Figura 14 Script Ejemplo de RStudio Para el Desarrollo de Histogramas 27
Figura 15 Script Ejemplo de RStudio Para la Obtención de la Precipitación Mensual Acumulada 27
Figura 16 Script Ejemplo de RStudio Para el Desarrollo de Diagramas de Barras.....28
Figura 17 Script Ejemplo de RStudio Para la Obtención de la Temperatura Promedio Mensual.....28
Figura 18 Script Ejemplo de RStudio Para la Obtención de las Gráficas de Comportamiento de Temperatura en las Cuatro Estaciones 28
Figura 19 Corrección de Sesgo Simple.....33
Figura 20 Series de Tiempo con y sin Control de Calidad de Datos in situ 35

Figura 21 Gráfico de Barras de la Precipitación Mensual Acumulada Para las 4 Estaciones 36
Figura 22 Mapa de Isoyetas de Datos in situ y Datos proyectados al 2070 en RCP 4.5 y RCP 8.5.....38
Figura 23 Series de Promedios con Datos Mensuales de Temperatura Máximas y Mínimas.39
Figura 24 Mapa de Isotermas de Temperatura Máxima Para Datos in situ y Datos proyectados al 2070 en RCP 4.5 y RCP 8.5. 40
Figura 25 Mapa de Isotermas de Temperatura Mínima Para Datos in situ 42
Figura 26 Resultado del Índice TXx para RCP 4.5 y RCP 8.5.....55
Figura 27 Resultado del Índice TXn para RCP 4.5 y RCP 8.5.....57
Figura 28 Resultado del Índice TX90p para RCP 4.5 y RCP 8.5.....58
Figura 29 Resultado del Índice TX10p para RCP 4.5 y RCP 8.5.....60
Figura 30 Resultado del Índice SU25 para RCP 4.5 y RCP 8.5 62
Figura 31 Resultado del Índice TNx para RCP 4.5 y RCP 8.5.....63
Figura 32. Resultado del Índice TNn para RCP 4.5 y RCP 8.5.....65
Figura 33. Resultado del Índice TR20 para RCP 4.5 y RCP 8.5 66
Figura 34. Resultado del Índice TN90p para RCP 4.5 y RCP 8.5.....67
Figura 35. Resultado del Índice TN10p para RCP 4.5 y RCP 8.5.....69
Figura 36 Resultado del Índice DTR para RCP 4.5 y RCP 8.5 70
Figura 37 Resultado del Índice WSDI para RCP 4.5 y RCP 8.5.....71
Figura 38 Resultado del Índice CSDI para RCP 4.5 y RCP 8.5 73
Figura 39 Resultado del Índice SDII para RCP 4.5 y RCP 8.5 75
Figura 40 Resultado del Índice RX5Day para RCP 4.5 y RCP 8.5.....77
Figura 41 Resultado del índice RX1Day para RCP 4.5 y RCP 8.5 78
Figura 42 Resultado del Índice R99p para RCP 4.5 y RCP 8.5 80
Figura 43 Resultado del Índice R95p para RCP 4.5 y RCP 8.5 82
Figura 44 Resultado del Índice R25mm para RCP 4.5 y RCP 8.5 83
Figura 45 Resultado del Índice R20mm para RCP 4.5 y RCP 8.5 85
Figura 46 Resultado del Índice R10mm para RCP 4.5 y RCP 8.5 87
Figura 47 Resultado del Índice PRCPTOT para RCP 4.5 y RCP 8.5.....88
Figura 48 Resultado del índice CDD para RCP 4.5 y RCP 8.5. 90
Figura 49 Resultado del Índice CWD para RCP 4.5 y RCP 8.5.....91

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Índices de Cambio Climático para la Temperatura Recomendados por el Equipo de Expertos en Detección e Índices del Cambio Climático.....12
Tabla 2 Índices de Cambio Climático para la Precipitación, Recomendados por el Equipo de Expertos en Detección e Índices del Cambio Climático.....13
Tabla 3 Información General de las Estaciones Cercanas a la Provincia de Tungurahua.....17
Tabla 4 Información General de las Estaciones Meteorológicas Utilizadas en el Estudio.....19
Tabla 5 Representación del Formato Admitido en el Software RClimDex.....31
Tabla 6 Registro de Outliers y Récords en Datos in situ de las Estaciones M0008, M0127, M0128, M0258 43
Tabla 7 Resumen Estadístico de la Precipitación de las Estaciones M0008, M0127, M0128, M0258.....44
Tabla 8 Resumen Estadístico de la Temperatura Máxima de las estaciones M0008, M0127, M0128, M0258 45
Tabla 9.....45
Tabla 10 Resumen de los Índices de Temperatura Recomendados por la ETCCI para las cuatro Estaciones en la Data in situ 46
Tabla 11 Resumen de los Índices de Precipitación Recomendados por la ETCCI para las cuatro Estaciones en la Data in situ. 48
Tabla 12 Resumen Estadístico de los Datos in situ vs los Datos modelados Históricos para Temperatura Máxima.....50
Tabla 13 Resumen Estadístico de los Datos in situ vs los Datos modelados históricos para temperatura mínima. 52
Tabla 14 Resultados de la Corrección de Sesgo para Temperaturas Máximas. 54
Tabla 15 Resultados de la Corrección de Sesgo para Temperaturas Mínimas. 54
Tabla 16 Resumen de los Índices de Cambio Climático Recomendados por la ETCCI para Temperatura en los escenarios RCP4.5 Y RCP 8.5 94
Tabla 17 Resumen de los Índices de Cambio Climático Recomendados por la ETCCI para la Precipitación en los Escenarios RCP4.5 y RCP 8.5.....96

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Definición de los Índices de Cambio Climático Establecidos en RClimDex 106
Anexo 2 Histogramas de la Data in situ 109
Anexo 3 qq-plots (Data in situ vs Datos Históricos modelados) para la Estación Puyo 110
Anexo 4 qq-plots (Data in situ vs Datos Históricos modelados) para la Estación Píllaro....111
Anexo 5 qq-plots (Data in situ vs Datos Históricos modelados), para la Estación Pedro Fermín 112
Anexo 6 qq-plots (Data in situ vs Datos Históricos modelados), para la Estación Querochaca 113

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo es determinar los efectos producidos por el cambio climático con datos in situ, y sus proyecciones al año 2070 generados por Modelos de Cambio Climático publicados de la Tercera Comunicación Nacional proporcionado por el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, a través del cálculo de los índices recomendados por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático. El área de estudio comprende la Provincia de Tungurahua, para la validación del modelo se utilizaron los datos in situ de las estaciones M0008-Puyo, M0127-Píllaro, M0128-Pedro Fermín y M0258-Querochaca con un rango temporal de 37 a 58 años y una disponibilidad de datos mayor al 70% para las variables utilizadas para el análisis de la climatología siendo (temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación), datos proporcionados por el INHAMHI necesarios para la realización de la corrección de sesgo a los datos in situ sobre los datos modelados y para el análisis de Cambio Climático al año 2070 en la provincia se utilizó el tamaño de celda de (10 km x 10 km), finalmente, con los datos corregidos se analizó los índices en RClimDex y evaluando los resultados estadísticamente significativos para los RCP 4.5 y 8.5 se determinó que las temperaturas máximas registran un aumento de 1.7°C hasta 2.3°C, para temperaturas mínimas registra un aumento de 1.7°C hasta 2.9°C y para precipitación total en la estación Puyo va desde 3300 mm/año hasta 4400 mm/año y para las región interandina desde 800 mm/año a 1420 mm/año además se elaboró cartografía temática con los resultados los cuales indican que el cambio climático va a ser irreversible antes del año 2070 para precipitación y temperatura en toda la región interandina esta propensa al aumento de temperatura y en lo que se refiere a precipitación aumentan en intensidad, frecuencia y duración los eventos extremos de lluvia.

Palabras claves: Precipitación, Cambio climático, Climatología.

ABSTRACT

The objective of this study is to determine the effects of climate change with in situ data and its projections to the year 2070 generated by the Climate Change Models published in the Third National Communication provided by the Ministry of Environment, Water and Ecological Transition, through the calculation of the indices recommended by the Intergovernmental Panel on Climate Change. The study area includes the Province of Tungurahua. For the validation of the model, in situ data from stations M0008-Puyo, M0127-Píllaro, M0128-Pedro Fermín and M0258-Querochaca were used, with a temporal range of 37 to 58 years and a data availability greater than 70% for the variables used for the climatology analysis (maximum temperature, minimum temperature and precipitation), The data provided by INHAMHI was necessary to perform the bias correction to the in situ data on the modeled data and for the analysis of Climate Change to the year 2070 in the province a cell size of (10 km x 10 km) was used, finally, with the corrected data the indexes were analyzed in RClimDex and evaluating the statistically significant results for RCP 4. 5 and 8.5 it was determined that maximum temperatures register an increase of 1.7°C up to 2.3°C, for minimum temperatures register an increase of 1.7°C up to 2. 9°C and total precipitation at the Puyo station ranges from 3300 mm/year to 4400 mm/year and for the inter-Andean region from 800 mm/year to 1420 mm/year. Thematic cartography was also prepared with the results, which indicate that climate change will be irreversible before the year 2070 for precipitation and temperature in the entire inter-Andean region, which is prone to temperature increase and for precipitation, the intensity, frequency and duration of extreme rainfall events are increasing.

Key words: Precipitation, Climate change, Climatology.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Problema

Los efectos ocasionados por el cambio climático están considerados como un problema urgente en la actualidad, provocado por el incremento de la concentración de los gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono (CO_2) , metano (CH_4), monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno (N_2O) y vapor de agua (H_2O), al ser gases de origen natural pero producidos de una forma en la que se altera el equilibrio lo cual altera el comportamiento del clima un ejemplo de este proceso son las erupciones volcánicas y de origen antrópico producidas principalmente por la industrialización, uso de combustibles fósiles, deforestación (Sandoval, 2020, p. 26).

Los efectos del cambio climático han dado paso a eventos de precipitación extrema, aumento de temperatura, sequías, incendios forestales, siendo eventos que tienen repercusiones ambientales, sociales, económicas y políticas. Principalmente en la agricultura el aumento de la temperatura puede alterar la producción de los cultivos, en la salud las olas de calor pueden aumentar de manera directa la morbilidad y la mortalidad (Arata de Bellabarba, 2008; Guamán, 2020).

1.2. Delimitación

El presente estudio se ubica en la provincia de Tungurahua, dentro del área de estudio se incluyen cuatro estaciones meteorológicas con un porcentaje de datos valido mayor al 70% y superior a 30 años, para el análisis de los índices de cambio climático debemos tener en cuenta que los impactos ocasionados por el cambio climático se manifiestan de manera distinta para cada región, sin embargo para la presente investigación se ha enfocado en la provincia de

Tungurahua utilizando datos in situ con datos históricos modelados para la validación del modelo y la obtención de los índices al año 2070.

1.3. Pregunta de investigación

¿Existen y/o existirán efectos de Cambio Climático en la provincia de Tungurahua, basados en el estudio de datos in situ y datos modelados?

1.4. Objetivos:

1.4.1. General

- Analizar los efectos producidos por el cambio climático con datos in situ, y sus proyecciones al año 2070 generados por Modelos de Cambio Climático publicados para la Provincia de Tungurahua.

1.4.2. Especificos

- Recolectar los datos meteorológicos a emplear para el levantamiento del estudio de Cambio Climático (Tmax, Tmin, Precipitación) en un rango de 20 - 30 años de las estaciones meteorológicas para determinar la zona de estudio y realizar el cálculo de los Índices del IPCC.
- Comparar los índices obtenidos in situ con los datos de las proyecciones sobre los Modelos de Cambio Climático, a través de un Downscaling estadístico y una corrección de sesgo, logrando la validación de los resultados del modelo global.
- Calcular los índices de cambio climático en la Provincia de estudio, con los datos modelados corregidos al año 2070.

1.5. Hipotesis

Determinar la presencia de los efectos de cambio climático en la provincia de Tungurahua a través de índices recomendados por el IPCC con datos in situ, históricos y proyectados al año 2070.

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. Cambio climático

El cambio climático representa una variación a nivel estadístico y de propiedades del estado de clima, el cual llegará a permanecer en un período de tiempo extenso, en el informe sobre evaluación el IPCC (2001), menciona que los procesos que afectan al cambio climático son naturales, de forzamiento externo y por ciertos cambios de nivel antropogénico.

Desde el punto de vista social el cambio climático representa una amenaza creciente en sociedades avanzadas y en desarrollo, por lo cual se están duplicando los esfuerzos para comprender mejor cómo está cambiando el clima y cómo estos cambios están afectando los sistemas naturales y sociales (Oltra et al., 2009).

2.1.1. Factores que causan el Cambio Climático

Los factores que causan el cambio climático tienen precedentes sobre datos históricos a nivel regional como son las emisiones producidas por aerosoles, incremento de concentraciones en las emisiones de GEI como lo son el: óxido nitroso, metano, dióxido de carbono, entre otros establecidos en la Cumbre de Poznan en el año 2008 determinando que las emisiones van en aumento debido a la combustión de combustibles fósiles (Díaz, 2012).

Las causas del cambio climático según estudios presentados en el informe de la IPCC en el año 2004 son: la primera de manera antrópica por acumulación en emisiones de gases de efecto invernadero provenientes de varias actividades entre ellas transporte, industria, agricultura, ganadería y la segunda por los diferentes abastecimientos de la energía. En el informe de cambio climático realizado por Cordero (2019) se evidencian diferentes actividades

que generan emisiones entre las principales se encuentra el metano(CH_4), óxido nitroso(N_2O) y los diferentes gases con compuestos como el cloro (Cl_2), bromo (Br_2) y flúor (F_2).

2.1.2. Impactos del Cambio Climático

Los impactos del Cambio Climático a nivel mundial es una realidad caracterizada por la elevación de la temperatura promedio desde de 0.01 °C en el período 1900-2007, en años posteriores al 2007 el incremento promedio tiene un valor de 0.66 °C. A pesar de que el planeta es el sustento de los seres humanos se evidencia efectos en la mayor parte de ecosistemas vinculados con la nieve, hielo y espacios congelados siendo afectados con consecuencias notorias en el deshielo generalizado de los nevados, glaciares con efectos directos sobre el aumento en el nivel oceánico, es así como también los impactos son extendidos hacia la agricultura con afectaciones en los sistemas de producción, en la salud humana (Vargas, 2009, p.13).

Hacia el futuro se proyectan diferentes impactos que van en constante aumento en los diferentes escenarios con el crecimiento en la producción de gases de efecto invernadero que se han ido presentando en un más de 200 por ciento entre los años 2000 y 2100, dependiendo de un nivel de calentamiento relacionado a población, producción, gestión y desarrollo de tecnologías con varias trayectorias referente al consumo descontrolado de recursos generando mayores riesgos para el planeta con incrementos promedio en la temperatura hasta el año 2100 entre 1.1 °C y 6.4 °C, estimándose perdidas en la biodiversidad de hasta un 30 por ciento (Vargas, 2009, p.14).

En el Ecuador uno de los impactos de cambio climático es evidentes en los trópicos al ser lugares donde la concentración de biodiversidad es alta ha sido afectada en los últimos 30 años en lo referente a distribución y abundancia al no adaptarse a los cambios rápidos en el

clima producidos por el cambio climático un ejemplo es la afectación por la disminución de la temperatura en la biodiversidad en ecosistemas como los páramos (Aguirre et al., 2015, p.31-35).

2.1.3. Ecuador y Cambio Climático

En el Ecuador las emisiones de los gases de efecto invernadero se encuentran presentes en gran cantidad debido a las actividades industriales, deforestación, agricultura e incluso la ganadería para lo cual se deben considerar tener reportes en donde se realicen controles adecuados para poder tener en cuenta posibles medidas de mitigación esto debido a que diversas investigaciones mencionan que sin un control adecuado de los GEI los niveles de daño en el planeta serán irreversibles para lo cual en el informe de la IPCC (2019) evidencia que las actividades antropogénicas son las que llevan a un total desequilibrio en la naturaleza incrementando los niveles de temperatura con una predicción al 2052 de 1,5°C obteniendo fenómenos del clima más extremos como: sequías, inundaciones, huracanes y si se realiza una proyección más prolongada en cuestión de tiempo se llegaría a obtener un aumento de temperatura de hasta 2°C (UNICEF, 2013).

El cambio climático en Ecuador se manifiesta de diferentes formas en el país por la presencia de Amazonía, Andes o el océano debido a que cada región presenta un tipo de clima diferente por lo cual se presenta un incremento de sus temperaturas y la intensidad de los fenómenos naturales, en un estudio realizado por el INAMHI cada año se presentan variaciones de precipitaciones al año del 33% para la región Sierra y del 8% para la región Costa (Elbehri et al., 2015).

2.2. Modelos de Circulación General de Cambio Climático.

Los modelos de circulación general constituyen un instrumento fundamental para el análisis y simulación del comportamiento futuro del clima en los distintos escenarios climáticos existentes y su relación con las concentraciones de gases de efecto invernadero, los modelos consideran ecuaciones que describen la física y dinámica de los movimientos. Se caracterizan por tener diferencias entre la temperatura del calentamiento global que va de 1.5 a 2 °C en regiones de océano y terrestres observándose como calor extremo en varias regiones o a su vez con un aumento en las precipitaciones además para el año 2100 se considera el incremento del nivel del mar de 0.1 m y después seguirá elevándose directamente con las emisiones de efecto invernadero (Gutiérrez, 2009; IPCC, 2019).

Según el IPCC (2019) la adaptación para disminuir los efectos de cambio climático será limitar sistemas humanos y naturales los cuales variarían de acuerdo a la función que presente cada región o sector. Los modelos están ubicados en la parte superior de la escala de modelos del clima, estos están acoplados a la atmósfera, océano y suelo siendo diseñados para predecir cambios en las variables en un tiempo determinado, por ende para la realización de proyecciones utilizando los modelos de circulación general de cambio climático a futuro es necesario que se interactúen todos los procesos importantes que rigen en la evolución del clima futuro (Castillo y Vides, 2014).

Los métodos empleados para la predicción de cambios climáticos pueden ser los modelos de circulación general de alta resolución, modelos regionales, métodos empíricos. Para cada método mencionado previamente es necesario realizar una reducción de escala el cual tiene cierto factor de incertidumbre, entre los factores de incertidumbre que influyen en los modelos están las ligadas a la emisión de gases de efecto invernadero, incertidumbres asociadas

a diferentes modelos globales, incertidumbres asociadas a la variabilidad interna del modelo, incertidumbres asociadas a la regionalización (Castillo y Vides, 2014).

2.2.1. Escenarios de Cambio Climático

En el quinto informe sobre la evaluación (IPCC, 2014), se define a los escenarios como " Rutas de Concentración Representativas (RCP)" para lo cual consideran un rango en las emisiones y las concentraciones de Gases de Efecto Invernadero con el propósito de explorar probables climas futuros con una estructura más amplia.

Se describen cuatro escenarios los mismos que se considera como probabilidades para un futuro según varias posibilidades que se evalúan en diferentes investigaciones. Además, se analiza según la Figura 1, las Trayectorias de Concentración Representativas (RCP) para lo cual el RCP8.5 se considera como nivel de elevadas emisiones de GEI, el escenario RCP 6.0 y RCP 4.5 son de estabilización, es decir que tendrán una mitigación media, mientras que el RCP 2.6 presenta un esfuerzo bajo para mitigación (IPCC, 2014).

Figura 1

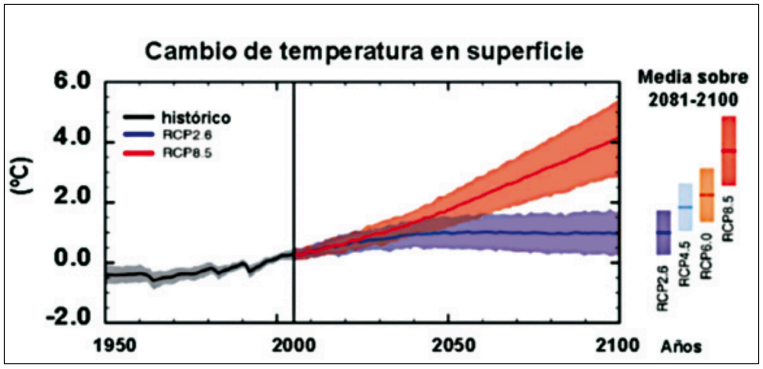
Representación de los Escenarios de Cambio Climático (RCP)

	FR	Tendencia del FR	$[CO_2]$ en 2100
RCP2.6	2,6 W/m ^{2}	decreciente en 2100	421 ppm
RCP4.5	4,5 W/m ^{2}	estable en 2100	538 ppm
RCP6.0	6,0 W/m ^{2}	creciente	670 ppm
RCP8.5	8,5 W/m ^{2}	creciente	936 ppm

Nota: Forzamiento radiativo total (FR), tendencia de FR y concentración de CO_2 para los RCP**.** Tomado de Comparación entre métodos de corrección de sesgo para las proyecciones de cambio climático en los Pirineos(Amblar Francés et al., 2018, p.8).

Figura 2

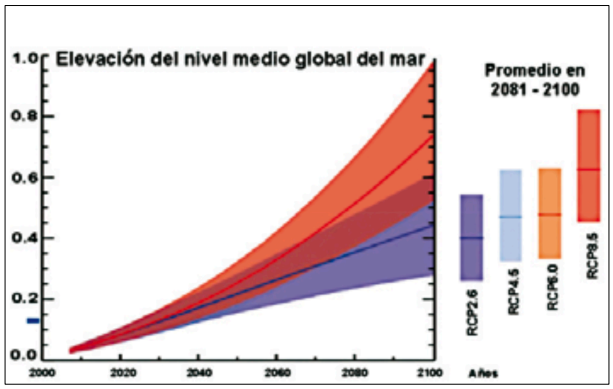
Representación Gráfica del Cambio de Temperatura de los Escenarios de Cambio Climático (RCP)



***Nota*:** La figura representa el cambio de temperatura a nivel global respecto a los escenarios de cambio climático**.** Tomado de Ambienta: La Revista de Ministerio del Medio Ambiente (Rodríguez Camino et al., 2014, p.38).

Figura 3

Representación Gráfica para el Aumento en el Nivel el Mar de los Escenarios de Cambio Climático (RCP)



***Nota*:** La figura representa el cambio de temperatura a nivel global respecto a los escenarios de cambio climático**.** Tomado de Ambienta: La Revista de Ministerio del Medio Ambiente (Rodríguez Camino et al., 2014, p.38).

2.2.2. Tercera Comunicación Nacional Sobre Cambio Climático

La Tercera Comunicación Nacional, es un proyecto encabezado por el MAE el año 2017 con el apoyo del Programa de las Naciones Unidas para el desarrollo (PNUD) y el financiamiento del Fondo Mundial para el Medio Ambiente, es un documento en el que se puede constatar los esfuerzos del Ecuador en contra del cambio climático con la aplicación de

iniciativas a favor de la mitigación y adaptación del país posteriormente siendo presentado ante la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC). Es así como el Ecuador cumple con el compromiso internacional con acciones enmarcadas en el Plan Nacional del Buen Vivir 2013-2017 (García, 2016).

El documento inicio su elaboración en el 2013 y se logró con la participación de distintas carteras de estado, sociedad civil, gobiernos autónomos descentralizados y organizaciones no gubernamentales. Consta de seis capítulos entre los cuales se da a conocer el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero, otros temas incluidos en el informe es el levantamiento de los datos, estrategias de mitigación en sitios vulnerables, avances en lo referente al cambio climático y todas las necesidades que el Ecuador afronte frente al problema (García, 2016; Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2017).

Según el Ministerio del Ambiente en 2017 en el Ecuador han existido avances en el sector energético con cambios en la matriz energética con soberanía, sostenibilidad ambiental, económica y social. Referente al sector industrial el cambio de la matriz productiva es un requisito ante la convención para su implementación, al tener en cuenta que el país aporta con el 0.15% de las emisiones de CO_2 a la atmosfera en el planeta (García, 2016; Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2017).

2.2.2.1. Aplicación del Downscaling estadístico. La aplicación del Downscaling estadístico utiliza modelos basados en la experiencia y observación para proyectar las predicciones, ya que en el estudio se están utilizando datos históricos modelados es necesario una validación con datos in situ con el mismo rango temporal “Datos históricos vs Datos in situ”, al ser un método que asume validez solo usando el clima presente para ser utilizado en proyecciones futuras es idóneo en el estudio. Una ventaja que tiene esta aplicación es sobre las

variables estándar como la precipitación y temperatura y además se pueden aplicar sobre otras variables como ejemplo la altura del oleaje que a pesar de ser dependiente de la circulación a gran escala y no ser proporcionadas por modelos globales y regionales (Castillo y Vides, 2014).

2.2.2.2. IPCC. El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático se conformó en el año 1988 por la Organización Mundial de Meteorología (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) con el fin de facilitar a los responsables de las políticas evaluaciones con base científica sobre los posibles impactos y riesgos a futuro con las debidas opciones de adaptación y mitigación (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, 2017).

Los funcionarios principales del gobierno mediante una reunión anual para realizar la toma de decisiones y mejorar la estructura y principios del IPCC, al realizar los planes de trabajo en las mesas mediante la elección de un integrante es nombrado presidente de trabajo y los informes se realizan cada 5 a 6 años aproximadamente con una utilidad científica y de apoyo para las negociaciones de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Clima y la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (García, 2016).

2.3. Índices recomendados por el IPCC para evaluación del cambio climático

En 1999, un equipo de expertos en climatología en detección, monitoreo e indexación del cambio climático creó y desarrolló un conjunto de 26 índices utilizados en paquetes computacionales realizados desde la interfaz de R. Esto permite predecir la temperatura y el comportamiento de las precipitaciones extremas. comprender más allá del tiempo y la región (Rodríguez et al., 2014; Zhang y Yang, 2004).

El principal impacto del cambio climático incide en el aumento de la temperatura y la precipitación, es decir, en cuanto a la extensión, frecuencia, duración o duración de los eventos

extremos. En la Tabla 1 y Nota: *La presente tabla muestra los índices recomendados por la IPCC para la temperatura. Tomado* de RClimDex (1.0) User Manual *(Zhang y Yang, 2004).*

Tabla *2* se presentan s índices recomendados para temperatura y precipitación(Zhang y Yang, 2004).

Tabla 1

Índices de Cambio Climático para la Temperatura Recomendados por el Equipo de Expertos en Detección e Índices del Cambio Climático

ID	Nombre del Índice	Descripción	Unidad
FD0	Días de heladas	Número de días en un año cuando TN (mínimo diario) < 0ºC	días
SU25	Días de verano	Número de días en un año cuando TX (máximo diario) > 25ºC	días
TR20	Noches tropicales	Número de días en un año cuando TN (mínimo diario) > 20ºC	días
GSL	Duración de la estación de cultivo	Duración de la estación de cultivo	días
TXx	Max de Tmax	Valor mensual máximo de temperatura máxima diaria	ºC
TNx	Max de Tmin	Valor mensual máximo de temperatura mínima diaria	ºC
TXn	Min de Tmax	Valor mensual mínimo de temperatura máxima diaria	ºC
TNn	Min de Tmin	Valor mensual mínimo de temperatura mínima diaria.	ºC
TN10p	Noches frías	Porcentaje de días cuando TN<10th percentil	días
TX10p	Días fríos	Porcentaje de días cuando TX<10th percentil	días
TN90p	Noches calientes	Porcentaje de días cuando TN>90th percentil	días
TX90p	Días calientes	Porcentaje de días cuando TX>90th percentil	días
WSDI	Indicador de la duración de periodos calientes	Contaje anual de días con por lo menos 6 días consecutivos en que TX<90th percentil	días
CSDI	Indicador de la duración de periodos fríos	Contaje anual de días con por lo menos 6 días consecutivos en que TN<10th percentil	días
DTR	Rango diurno de temperatura	Diferencia media mensual entre TX y TN	ºC

Nota: La presente tabla muestra los índices recomendados por la IPCC para la temperatura. Tomado de RClimDex (1.0) User Manual (Zhang y Yang, 2004).

Tabla 2

Índices de Cambio Climático para la Precipitación, Recomendados por el Equipo de Expertos en Detección e Índices del Cambio Climático

ID	Nombre del Índice	Descripción	Unidad
RX1day	Cantidad Máxima de precipitación en un día	Máximo mensual de precipitación en 1 día	mm
Rx5day	Cantidad Máxima de precipitación en 5 días	Máximo mensual de precipitación en 5 días mm consecutivos	mm
SDII	Índice simple de intensidad diaria	Precipitación anual total dividida para el número de días húmedos (definidos por PRCP>=1.0mm) en un año	$\frac{mm}{día}$
R10mm	Número de días con precipitación intensa	Número de días en un año en que PRCP>=10mm	días
R20mm	Número de días con precipitación muy intensa	Número de días en un año en que PRCP>=20mm	días
Rnn	Número de días sobre nn mm	Número de días en un año en que PRCP>=nn mm, nn es un parámetro definido por el usuario	días
CDD	Número máximo de días secos consecutivos	Número máximo de días consecutivos con RR<1mm	días
CWD	Días húmedos consecutivos	Número máximo de días consecutivos con RR>=1mm	días
R95p	Días muy húmedos	Precipitación anual total en que RR > 95 percentil	mm
R99p	Días extremadamente lluviosos	Precipitación anual total en que RR > 99 percentil	mm
PRCPTOT	Precipitación total anual en los días húmedos	Precipitación anual total en los días húmedos (RR>=1mm)	mm

Nota: La presente tabla muestra los índices recomendados por la IPCC para la precipitación. Tomado de RClimDex (1.0) User Manual (Zhang y Yang, 2004).

2.4. R RClimDex

Es un software fundamentado en Microsoft Excel con la capacidad de operar en sistemas operativos como Microsoft Windows y Unix/Linux, y con la finalidad de obtener análisis estadísticos y gráficos. También con la capacidad de ser ejecutada en R1.84 o una versión posterior al ser un software de libre acceso, RClimDex al ser ejecutado permite calcular los 27 índices recomendados por el IPCC, previo a la ejecución del programa es recomendable un

control de calidad de los datos: precipitación(rr), temperatura máxima(tx) y temperatura mínima(tn) (Zhang y Yang, 2004).

2.5. Efecto isla de calor urbano

El efecto conocido como isla de calor urbano es un indicador de la alteración del clima debido a actividades antropogénicas con una diferencia de temperaturas observada entre la zona urbana y sus alrededores. Formado en áreas donde el crecimiento urbano con el avance del tiempo has sido notable y los materiales utilizados para el crecimiento de las ciudades por la sustitución del suelo natural por superficies y estructuras de concreto, pavimento al ser materiales que absorbe y retienen más calor emitido por el sol durante el día a diferencia de los materiales naturales (Álvarez, 2020, p.5-6).

Las razones por la que los materiales utilizados en la ciudad producen este efecto es porque tienen una alta capacidad hermética e impermeables, al no permitir que la humedad disponible disipe el calor del sol, otra razón es por la tonalidad de los materiales al ser la mayoría de color oscuro por ejemplo en las carreteras, los materiales oscuros recolectan y mantienen más energía solar. La influencia del calor antropogénico al tener relación directa con la contaminación del aire influye en la formación de islas de calor en la zona urbana, también teniendo beneficios en costos de calefacción y muertes relacionadas con bajas temperaturas, por otra parte en temporadas cálidas los impactos negativos aumentan, con índices mayores de mortalidad y enfermedades relacionadas con altas temperaturas, e indirectamente con emisiones de gases de efecto invernadero por el alto consumo de energía (Álvarez, 2020, p.5-6).

Según Gartland (2012) el efecto isla de calor urbano tiene varias características en común:

- Es más cálido en el área urbana en relación con áreas sin intervención antropogénica.
- La temperatura del aire está relacionada con el calentamiento de estructuras y superficies urbanas, al absorber más calor que la vegetación.
- Las áreas urbanas sin vegetación tienden a ser más cálidas, con un efecto de isla de calor más intensa a medida que el crecimiento de la ciudad es notable

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Área de estudio

La provincia de Tungurahua fue fundada el 21 de mayo de 1861 cuenta con una extensión de 3.386 km^2 según el Gobierno Provincial de Tungurahua, en su proyección poblacional al año 2020 estima 590.600 habitantes distribuidos al 59.1% en la zona rural y el 40.9% en la zona Urbana (Gobierno Provincial de Tungurahua, 2021).

Tungurahua es una de las 24 provincias del Ecuador, conformada por 9 cantones: Baños, Ambato, Cevallos, Pelileo, Patate, Mocha, Píllaro, Tisaleo, Quero y 44 parroquias rurales y 9 urbanas, siendo su capital Ambato (Gobierno Provincial de Tungurahua, 2015).

Limita al norte con la provincia de Cotopaxi, con la provincia de Chimborazo al sur, al este con las provincias de Napo y Pastaza y al oeste con las provincias de Bolívar y Cotopaxi (Gobierno Provincial de Tungurahua, 2015).

El clima en la provincia de Tungurahua presenta variedad de temperaturas debido a la altitud que va desde los 1200 msnm hasta los 5000 msnm y también por la influencia de las corrientes amazónicas como la del atlántico, donde las temperaturas promedio varían desde los -4°C en las partes más altas 20°C en las partes con menor altitud de la provincia, en lo referente a la precipitación anual de la provincia varía entre 400 mm y 600 mm, siendo 2 lapsos al año las más lluviosas: de marzo a junio y de octubre a noviembre (Gobierno Provincial de Tungurahua, 2015).

Con un total de siete estaciones entre las provincias de Tungurahua y Pastaza (Ver Tabla 3), y al no contar con estaciones meteorológicas con un porcentaje de datos validos mayor al

70% las estaciones en el estudio se redujeron a cuatro estaciones las cuales si cumplen con los requisitos necesarios para la realización del cálculo de los índices en la provincia de Tungurahua (Guamán, 2020). (Ver Figura 4)

Figura 4

Mapa de Ubicación de las Estaciones Meteorológicas Cercanas en la Provincia de Tungurahua

Nota: En esta figura se observa todas las estaciones meteorológicas cercanas a la provincia de Tungurahua.

Fuente: La Investigación.

Tabla 3

Información General de las Estaciones Cercanas a la Provincia de Tungurahua

Código	Estación	X	Y	Altitud [msnm]	Desde	Hasta	Rango Temporal [años]	Variables meteorológicas disponibles	
M0008	Puyo	840114	9833137	960	1960	2018	58	rr	92.65%
								tx	89.94%
								tn	89.85%
M0029	Baños	764238	9861350	1695	1950	2018	68	rr	79.34%
								tx	69.43%
								tn	71.34%
M0126	Patate	776958	9869605	2220	1948	2015	67	rr	65.12%
								tx	54.74%
								tn	52.62%

M0127	Píllaro	771855	9869917	2793	1964	2014	50	rr	84.22%
								tx	76.67%
								tn	74.18%
M0128	Pedro Fermín	765155	9850010	2910	1978	2015	37	rr	93.52%
								tx	91.43%
								tn	88.77%
M0258	Querochaca	766205	9848380	2865	1979	2018	39	rr	83.07%
								tx	82.59%
								tn	82.74%
M1069	Calamaca	742462	9858481	3402	1988	2015	27	rr	73.41%
								tx	67.00%
								tn	68.57%

Nota: Variables meteorológicas: (rr)Precipitación, (tx)Temperatura máxima, (tn)Temperatura mínima.

Fuente: La Investigación.

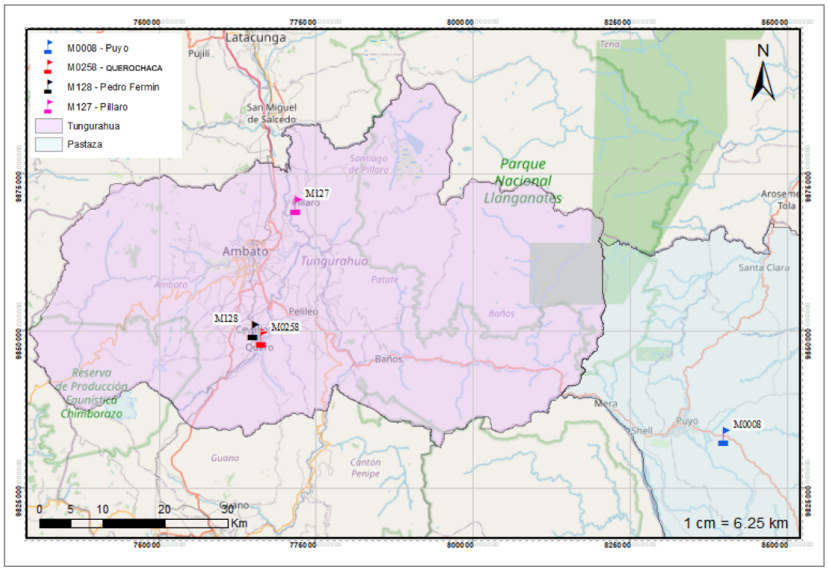
3.2. Datos meteorológicos utilizados

El formato entregado por el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica se detallado en (Pacheco, 2022, p.28). El formato de los datos meteorológicos diarios está organizado en un formato de texto “txt” y “xlsx”, separado por tabuladores los datos de las variables meteorológicas se encuentran en hoja separadas y cada línea de texto simboliza la información mensual.

Para el presente estudio se adoptaron los datos entregados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INHAMI), institución con autonomía administrativa y técnica , con representación nacional e internacional teniendo jurisdicción en todo el país (Lastra Llerena y Molina Veintimilla, 2013). Es así como se tomaron en cuenta las estaciones (M0008-Puyo, M0127-Píllaro, M0128-Pedro Fermín, M0258-Querochaca) especificadas en la Tabla 4 y Figura 5.

Figura 5

Mapa de Ubicación de las Estaciones Meteorológicas Utilizadas con Datos Validos en la Zona de Estudio.



Nota: En esta figura se observa las estaciones meteorológicas con datos válidos para el cálculo de los índices recomendados por el IPCC para la provincia de Tungurahua.

Fuente: La Investigación.

Tabla 4

Información General de las Estaciones Meteorológicas Utilizadas en el Estudio

Código	Estación	X	Y	Altitud [msnm]	Desde	Hasta	Rango Temporal [años]	Variables meteorológicas disponibles	
M0008	Puyo	840114	9833137	960	1960	2018	58	rr	92.65%
								tx	89.94%
								tn	89.85%
M0127	Píllaro	771855	9869917	2793	1964	2014	50	rr	84.22%
								tx	76.67%
								tn	74.18%
M0128	Pedro Fermín	765155	9850010	2910	1978	2015	37	rr	93.52%
								tx	91.43%
								tn	88.77%
M0258	Querochaca	766205	9848380	2865	1979	2018	39	rr	83.07%
								tx	82.59%
								tn	82.74%

Nota: Variables meteorológicas: (rr)Precipitación, (tx)Temperatura máxima, (tn)Temperatura mínima.

Fuente: La Investigación.

3.3. Datos proyectados al 2070 de la TCN

Para la investigación se utilizaron las proyecciones climáticas de temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación desde el año 2011 hasta el año 2070 obtenidos desde el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE) y los formatos de los datos presentados en (Pacheco, 2022, p.33).

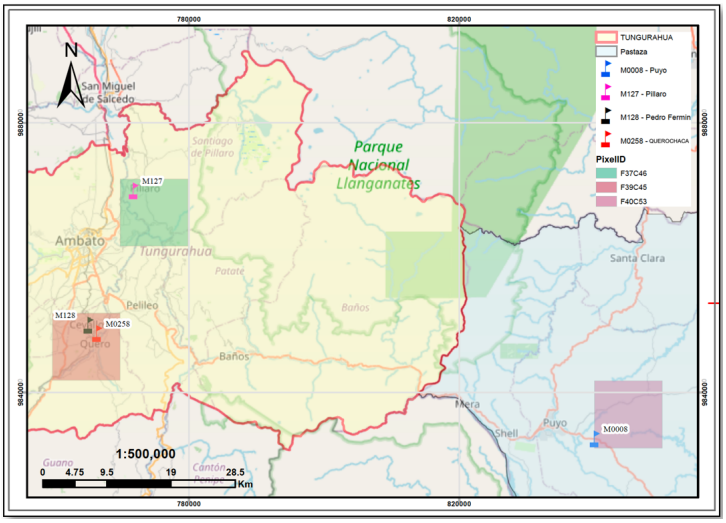
Los datos proporcionados por el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica constan de:

- Información cartográfica en formato shapefile
- Información climática de los escenarios históricos y futuros de las cuadriculas.

La información cartográfica presentada el archivo shapefile tiene características de tamaño de celda de (10 km x 10 km), archivo del cual se extrajo los datos de temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación, La codificación de los archivos Excel es la representación de los pixeles con respecto al archivo shapefile. (Ver Figura 6)

Figura 6

Mapa de Ubicación de las Estaciones: M0008, M0127, M0128 y M0258 de Acuerdo con el Píxel ID de los Datos Modelados



Nota: En esta figura se observa las ubicaciones las estaciones meteorológicas vs las cuadriculas de los datos modelados.

Fuente: La Investigación.

3.4. Lectura de la data mensual y diaria

3.4.1. Script de RStudio

El formato presentado para la data mensual se pudo leer directamente en el software RStudio al tener la compatibilidad con la interfaz, sin embargo, los datos diarios a pesar de ser compatibles deben ser tratados previamente por un script en Python para modificar el formato entregado por el Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica a un formato compatible con RClimDex.

Figura 7

Script de RStudio Para la Lectura de Datos

```
library(ggplot2, plotly, dplyr, readxl, lubridate)
M0008<- read_excel("M008N.xlsx", col_types = c("text",
    "numeric", "numeric", "numeric"))
M0128<- read_excel("M0128N.xlsx", col_types = c("text",
    "numeric", "numeric", "numeric"))
M0127<- read_excel("M0127N.xlsx", col_types = c("text",
    "numeric", "numeric", "numeric"))
M0258<-read_excel("M0258N1.xlsx", col_types = c("text",
    "numeric", "numeric", "numeric"))
```

Fuente: La Investigación.

El script presentado indica la carga de las librerías indispensables para el manejo y la lectura de los datos, estas deben ser instaladas previamente, para cargar los datos de la data mensual y diaria en la interfaz de RStudio se utiliza desde la segunda línea adjuntada en la Figura 7 del script.

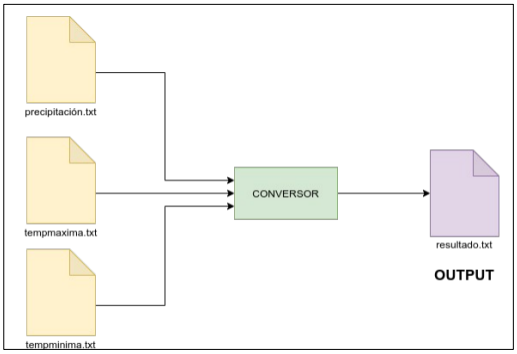
3.4.2. Script de Python

Para leer y procesar los datos diarios, al tener un formato no compatible con RStudio debe tener un pretratamiento en el software Python, el cual implementa un algoritmo para que las entradas sean los archivos por separado de las variables meteorológicas proporcionadas por el Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica, dando un archivo resultante y funcional para el procesamiento del software RClimDex.

El diseño del algoritmo es enfocado en las tres variables meteorológicas requeridas: temperatura máxima (tx), temperatura mínima (tn) y precipitación(rr). Consta de dos partes principales enfocadas en la carga de datos o llamados archivos de entrada y la segunda parte es el procesamiento y creación del archivo de salida.

Figura 8

Representación Gráfica de los Archivos de Entrada y Salida de la Conversión en el Software Python.



Nota: Representación de los archivos de las variables: tx, tn, rr en Python. Tomado de Conversor-Datos-Meteorológicos (Tufiño, 2021)

Figura 9

Script de Python Para la Entrada de Datos

```
DATA = {
    'PRECIPITACION': [],
    'TEMP_MAXIMA': [],
    'TEMP_MINIMA': [],
    'VIENTO': [],
    'PRESION': [],
    'HUMEDAD': [],
    'TIEMPO': [] }
```

Nota: Representación de la entrada de datos para las variables: tx, tn, rr en Python. Tomado de Conversor-Datos-Meteorológicos (Tufiño, 2021)

El algoritmo especifica las variables meteorológicas que vamos a procesar, denominada DATA la cual tiene como función leer los archivos de entrada y almacenarlos en un registro dentro de la lista DATA.

Figura 10

Script de Python Para la Lectura de Datos

```
def cargar_datos ():
for magnitud in DATA:
        archivo = "input/" + magnitud.lower() +
".txt"         if os.path.exists(archivo):
file = open(archivo, 'r')   datos = []
primera_fila = True
for linea in
file.readlines():
if primera_fila:
primera_fila = False
                    continue
                 datos.append(linea.rstrip().split('\t'))
file.close
DATA[magnitud] = datos
print("Datos de",magnitud,"cargados")
else:
            print("No existe archivo para", magnitud)
```

Nota: Representación de la lectura de datos para las variables: tx, tn, rr en Python. Tomado de Conversor-Datos-Meteorológicos (Tufiño, 2021)

Se realiza el procesamiento de la lista DATA con tres requerimientos:

- Lista de codificación de las estaciones meteorológicas
- Fechas de inicio y fin de los datos meteorológicos

El script realiza una lista con cuatro columnas iniciales en el archivo de salida y las unidades meteorológicas a ser procesadas. La lista es designada en una variable llamada salida la cual es ordenada por mes en el rango de fechas establecidos para realizar el proceso continua con dos bucles anidados siendo el primero en recorrer la lista de códigos de las estaciones meteorológicas ingresadas y el segundo recorre cada uno de los días en cada fecha.

Figura 11

Script de Python Para la Salida de los Datos

```
def procesar(codigos, desde, hasta):
cabecera = ['CODIGO', 'ANIO', 'MES', 'DIA']
for magnitud in DATA:
        cabecera. Append(magnitud)
    salida = [cabecera]
fechas = generar_fechas(desde, hasta)
for codigo in codigos:
for fecha in fechas:
anio = int(fecha.split("-")[0])
           mes = int(fecha.split("-")[1])
row_a = consultar(DATA['PRECIPITACION'],codigo,anio,mes)
row_b = consultar(DATA['TEMP_MAXIMA'], codigo, anio, mes)
row_c = consultar(DATA['TEMP_MINIMA'], codigo, anio, mes)
row_d = consultar(DATA['VIENTO'], codigo, anio, mes)
row_e = consultar(DATA['PRESION'], codigo, anio, mes)
row_f = consultar(DATA['HUMEDAD'], codigo, anio, mes)
row_g = consultar(DATA['TIEMPO'], codigo, anio, mes)
filas = armar_datos(codigo, anio, mes, row_a, row_b, row_c, row_d,
                    row_e, row_f, row_g)
 salida.extend(filas)
 guardar(codigo, salida)
```

Nota: Representación de la salida de datos para las variables: tx, tn, rr en Python. Tomado de Conversor-Datos-Meteorológicos (Tufiño, 2021)

En el segundo bucle del script se realiza la obtención del año, mes y día que se está repitiendo continuamente, esto realizado para cada variable dentro de la lista DATA en la cual se consulta la información de la estación meteorológica en el año y mes que se están repitiendo en el procedimiento para obtener el resultado de cada variable formando el formato solicitado por el software para la lectura del archivo de salida (Tufiño, 2021).

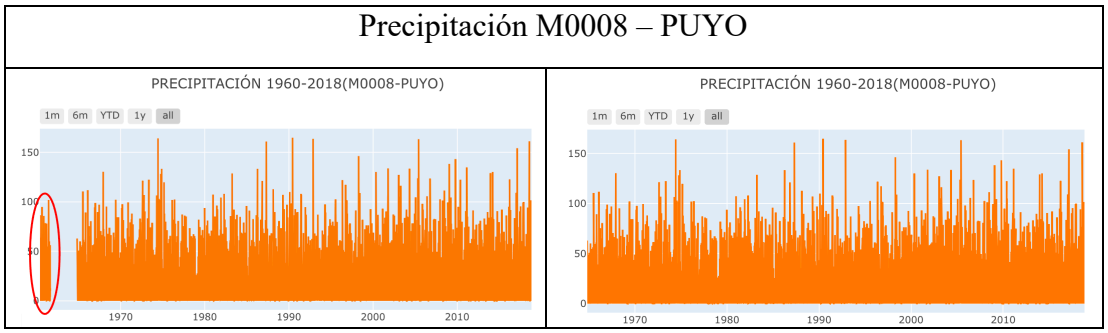
3.5. Control de calidad de los datos

Para el control de calidad de todos los datos meteorológicos de las estaciones, es necesario realizar una búsqueda de datos atípicos erróneos, datos que puedan alterar los resultados finales. Suprimiendo valores que estén fuera del orden y dentro del Script utilizado en RStudio se debe implementar condiciones necesarias para que estos datos sean interpretados, esto aplicado a los datos mensuales y diarios.

Los datos atípicos erróneos deben ser buscados y eliminados estos se producen por varios factores como: variaciones de voltaje en las estaciones, estaciones sin calibrar (Ver ejemplo Figura 12).

Figura 12

Series de Tiempo Antes y Después de la Identificación de datos erróneos o atípicos



Nota: a) Izq. Series de tiempo con datos atípicos o erróneos, b) Der. Series de tiempo en el cual se eliminaron datos atípicos o erróneos. El circulo en rojo muestra los datos eliminados

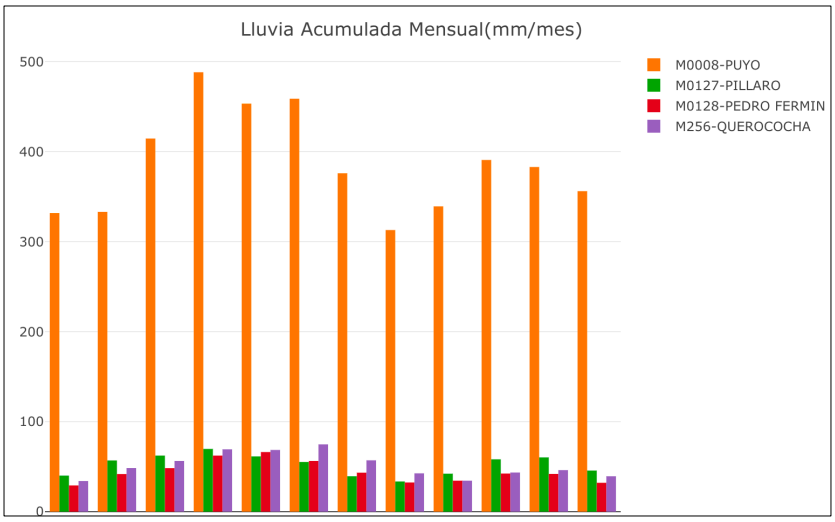
Fuente: La Investigación.

3.6. Análisis Climatológico

3.6.1. Precipitación

Figura 13

Diagrama de Barras de las 4 Estaciones del Estudio para la Representación de la Precipitación



Fuente: La Investigación.

En el análisis se utilizan datos mensuales y diarios que posean series de tiempo mayores a 30 años, realizando histogramas como se pueden observar en el Anexo 2 y diagramas de barras en la Figura 21 de la precipitación mensual acumulada previamente separada mes a mes.

Para la realización de histogramas de la precipitación se desarrolló el siguiente script en RStudio:

Figura 14

Script Ejemplo de RStudio Para el Desarrollo de Histogramas

```
# Histograma Precipitacion M008
M0008_Precipitacion = hist(M0008$prcp,xlab ="Precipitación" ,ylab =
"Frecuencia",main = "Precipitación In Situ - M0008 Puyo 1960-2018")
M0008_Precipitacion_2070 = hist(M0008_2070$Precipitación,xlab
="Precipitación" ,ylab = "Frecuencia",main = "Precipitación 1981-2015
- M0008 Puyo")
```

Nota: El presente código es utilizado para la estación M0008-Puyo

Fuente: La Investigación.

Para la realización de los diagramas de barras de la precipitación mensual acumulada se realizó la separación de enero a diciembre con los datos de las estaciones para luego proceder a la sumatoria y la división para el numero de meses total detallado en la Figura 15, y en Figura 16, el script detalla el código para la obtención de los histograma de las 4 estaciones de la provincia de estudio previo a la obtención de los valores de precipitación mensual acumulada.

Figura 15

Script Ejemplo de RStudio Para la Obtención de la Precipitación Mensual Acumulada

```
trace0=(c(sum(Enero_1$prcp, na.rm = TRUE)/53,
          sum(Febrero_1$prcp, na.rm = TRUE)/53,
          sum(Marzo_1$prcp, na.rm = TRUE)/53,
          sum(Abril_1$prcp, na.rm = TRUE)/53,
          sum(Mayo_1$prcp, na.rm = TRUE)/52,
          sum(Junio_1$prcp, na.rm = TRUE)/53,
          sum(Julio_1$prcp, na.rm = TRUE)/53,
          sum(Agosto_1$prcp, na.rm = TRUE)/52,
          sum(Septiembre_1$prcp, na.rm = TRUE)/53,
          sum(Octubre_1$prcp, na.rm = TRUE)/54,
          sum(Noviembre_1$prcp, na.rm = TRUE)/53,
          sum(Diciembre_1$prcp, na.rm = TRUE)/54))
```

Nota: Representación para la estación M0008-Puyo

Fuente: La investigación.

Figura 16

Script Ejemplo de RStudio Para el Desarrollo de Diagramas de Barras

```
X=data.frame(trace0,trace1,trace2,trace3)
fig <- plot_ly(data = X,type = 'bar')
fig <- fig %>% add_trace (y = X$trace0, name ="M0008-PUYO")
fig <- fig %>% add_trace (y = X$trace1, name ="M0127-PILLARO")
fig <- fig %>% add_trace (y = X$trace2, name ="M0128-PEDRO FERMIN")
fig <- fig %>% add_trace (y = X$trace3, name ="M256-QUEROCOCHA") %>%
  layout (showlegend = T, title="Lluvia Acumulada Mensual(mm/mes)")
fig
```

Nota: Representación para las cuatro estaciones

Fuente: La investigación.

3.6.2. Temperaturas Máximas y Mínimas

Para la realización de las gráficas para visualizar el comportamiento de la temperatura se realizó la separación de enero a diciembre y se obtuvo el valor promedio según el siguiente script en RStudio:

Figura 17

Script Ejemplo de RStudio Para la Obtención de la Temperatura Promedio Mensual

```
      Trace4=(c(mean(Enero_1$tmax, na.rm = TRUE),mean(Febrero_1$tmax, na.rm
=  TRUE),mean(Marzo_1$tmax,  na.rm  =  TRUE),mean(Abril_1$tmax,  na.rm  =
TRUE),mean(Mayo_1$tmax,   na.rm   =   TRUE),mean(Junio_1$tmax,   na.rm   =
TRUE),mean(Julio_1$tmax,   na.rm   =   TRUE),mean(Agosto_1$tmax,   na.rm   =
TRUE),mean(Septiembre_1$tmax,  na.rm  =  TRUE),mean(Octubre_1$tmax,  na.rm  =
TRUE),mean(Noviembre_1$tmax,  na.rm  =  TRUE),mean(Diciembre_1$tmax,  na.rm  =
TRUE)))
```

Nota: Representación para la estación M0008-Puyo

Fuente: La investigación

Figura 18

Script Ejemplo de RStudio Para la Obtención de las Gráficas de Comportamiento de Temperatura en las Cuatro Estaciones

```
Y=data.frame(trace4, trace5,trace6,trace7)
fig <- plot_ly(data = X,type = 'scatter',mode = 'lines+markers')
fig <- fig %>% add_trace(y = Y$trace4,name ="M0008-PUYO")
fig <- fig %>% add_trace(y = Y$trace5,name ="M0127-PILLARO")
fig <- fig %>% add_trace(y = Y$trace6,name ="M0128-PEDRO FERMIN")
fig <- fig %>% add_trace(y = Y$trace7,name ="M256-QUEROCOCHA")%>%
layout (showlegend = T, title="Temperaturas maximas estaciones Mensual")
      fig
```

Nota: Representación para las cuatro estaciones

Fuente: La investigación

3.6.3. Registro de Outliers y Récords

Para la identificación de Outliers y récords se debe analizar la distribución de las series de datos de las variables, seleccionando casos atípicos es decir los que se encuentren fuera de los rangos de distribución de la mayor cantidad de datos, mientras que para la identificación de los récords en las series de datos es necesario la elaboración de un resumen estadístico para cada variable, el mismo que nos brinda la información del valor máximo, mínimo, cuartiles y el promedio de la variable en estudio(Ocaña, 2017).

3.6.4. Elaboración de Cartografía

3.6.4.1 Con Método de Kriging para la elaboración de Isoyetas e Isotermas.

Para la elaboración y presentación de la cartográfica con la interpolación Kriging de ArcGIS, la cual es una técnica basada en el análisis de la estructura geoestadística de variación en el espacio. Para la aplicación de la interpolación Kriging se deben proporcionar parámetros del semivariograma y el tipo de interpolación esperada “Puntual o bloques” (Zucarelli et al., 2005).

Como resultado final en la interpolación Kriging es la cartografía con valores interpolados de la variable ingresada, pero con características representativas en el espacio “en forma de varianza o desviación estándar”, el grado de incertidumbre o error de cada interpolación.

Los pasos para seguir en el Software ArcGIS se detallan a continuación:

1. Cargar el archivo shapefile de las estaciones del estudio.
2. En Arc Tool Box, en el apartado Spacial Analyst Tool se encuentra el subapartado Interpolation.
3. Seleccionar el método de Interpolación Kriging.

4. En la ventana que se presentó seleccionamos la primera pestaña de Input Point Features, y añadimos el nombre de la capa que deseamos interpolar.
5. En el apartado Z values seleccionamos los datos de la variable que deseamos interpolar.
6. En la ventana emergente, en la opción Enviroment sobre la sección Processing Extent escogemos la capa que tiene la función de limitante en el proceso de interpolación.
7. En la parte inferior de la ventana, sobre la pestaña Raster Analysis determinamos la capa tipo polígono sobre la cual queremos que se aplique el proceso de interpolación.

3.7. Análisis de índices de Cambio Climático con ClimDex

Para el análisis de los datos meteorológicos es necesario la instalación de las librerías RClimDex en RStudio ya que el formato admitido por el programa es "txt", pero este varia del formato entregado por el Ministerio del Ambiente, Agua y transición Ecológica en dos aspectos:

- La información de las variables climáticas debe estar en un solo archivo.
- El registro debe ser diario y no mensual. Debido a la presentación inicial de los datos se utilizó el script de Python descrito más atrás.

El formato admitido por el software RClimDex debe estar organizado en siete columnas, en la Tabla 5 indica la estructura correcta del archivo.

1. Código de la estación
2. Año
3. Mes
4. Día

5. Precipitación
6. Temperatura máxima.
7. Temperatura mínima.

Tabla 5

Representación del Formato Admitido en el Software RClimDex

code	year	month	day	prcp	tmax	tmin
M0127	1960	1	1	0	28.4	13.5
M0127	1960	1	2	25.5	24.9	14.5
M0127	1960	1	3	37.7	24.3	17.6
……	…..	…..	…..	…..	…..	…..
M0127	2018	12	1	8.5	26.7	16.7
M0127	2018	12	2	25.4	28.8	15.7

Nota: En la tabla se indica el formato de datos admitido por el RClimDex.

Fuente: La Investigación.

3.7.1. Control de Calidad Climatológico de datos en ClimDex

Antes de realizar el uso de ClimDex se debe realizar control de calidad para eso previamente, es necesario realizar el proceso de la sección 4.2 más atrás, y proceder con lo especificado en el manual de RclimDex (Zhang y Yang, 2004).

El proceso de control de calidad para ClimDex se detalla a continuación:

1. Sustituir los datos faltantes (NA, no disponibles) de las variables meteorológicas por -99.9.
2. Sustituir por -99.9 los valores que puedan alterar los resultados como:
    a. Precipitación diaria con valor menor a 0
    b. Temperaturas máximas diarias que tengan valore menores a las temperaturas diarias mínimas.
    c. Valores extremos o llamados Outliers presentes en temperaturas máximas y mínimas.

Para una mejor eficiencia en el control de calidad podemos visualizar las gráficas de series temporales indicando los valores atípicos, estas graficas son generadas en la carpeta "log". En la carpeta "log" los archivos de series de tiempo se tienen en formato pdf y los análisis estadísticos de los datos "NA" para cada variable tienen el formato "nastatistic.csv".

En las carpetas generadas existe una llamada "plots", en esta se almacenan las gráficas de los índices de cambio climático resultantes. En los datos del estudio no se realizó ningún relleno de datos, ya que al realizar este procedimiento los resultados no serían reales, y el objetivo del presente estudio es encontrar eventos reales.

3.7.2. Cálculo de índices de Cambio climático en ClimDex de R.

3.7.2.1. Uso de RClimdex. RClimDex, es una interfaz gráfica que se ejecuta desde R, la misma que podemos utilizar para cargar los datos previamente tratados y procesarlos para obtener los índices representados en graficas (Zhang y Yang, 2004)

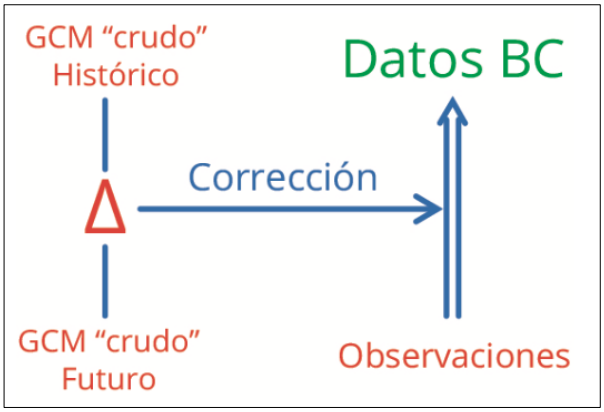
3.8. Downscaling estadístico: corrección del modelo vs. dato in situ.

Para corregir los datos modelados hay que realizar una corrección de sesgo, esta se define como una variación de la media de las series temporales. Y la medida de exactitud que mide la diferencia entre el dato in situ y el dato simulado (Amblar Francés et al., 2018).

Es decir, el proceso a realizar es el cálculo de los promedios de los datos simulados e in situ, y el valor obtenido es sumado o restado a los datos modelados en los escenarios 4.5 y 8.5.

Figura 19

Corrección de Sesgo Simple



Nota: Representación Gráfica de la Corrección de Sesgo para datos in situ e históricos modelados. Tomado de Nuevos datos diarios de clima para simulaciones de crecimiento de cultivos (Navarro, 2016).

Para realizar la comparación entre el modelo histórico modelado y el dato in situ, se debe tener periodos temporales semejantes en ambos datos, es decir para las estaciones del estudio debemos tomar los datos de 1981 al 2011, de las estaciones M0008-Puyo, M0127-Píllaro, M0128-Pedro Fermín y M0258-Querochaca.

Del mismo modo de los datos históricos se deben seleccionar por cuadricula conforme donde se encuentren ubicados las cuatro estaciones meteorológicas en este caso F40C53 para la estación M0008-Puyo, F37C46 para la estación M0127-Píllaro y F39C45 para las dos estaciones restantes M0128-Pedro Fermín, M0258-Querochaca (Ver Figura 6), además se debe escoger los datos de las variables que vamos a analizar: temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación. Para obtener datos de estadística general y para el cálculo en RClimDex es necesario tomar los distintos periodos de las cuatro estaciones contra los datos modelados.

3.9. Índices de cambio climático proyectados al año 2070

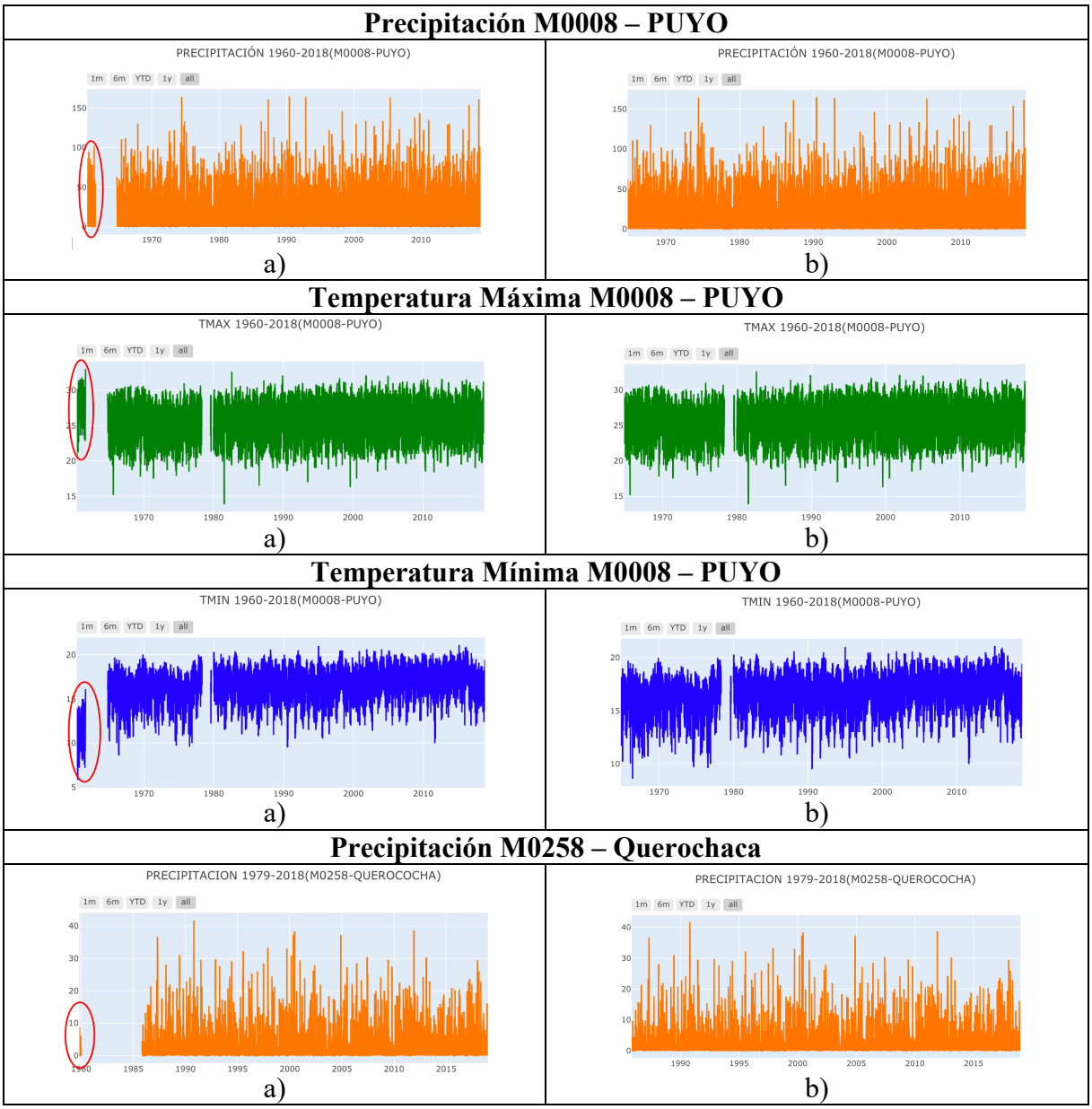
Para el análisis de los índices de cambio climático para los datos modelados al año 2070 una vez realizado la respectiva corrección, se procede a realizar nuevamente lo indicado en la sección 3.7.2. Cálculo de índices de Cambio climático en ClimDex de R.

4.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Control de calidad de los datos

Figura 20

Series de Tiempo con y sin Control de Calidad de Datos in situ



Nota: En las ilustraciones a) en el círculo rojo se encuentran marcados los datos atípicos, b) series de tiempo con datos eliminados

Fuente: La Investigación.

En la Figura 20, se visualizan a la derecha las series de tiempo corregidas y en la parte izquierda los datos por corregir, señaladas con un círculo rojo los datos considerados defectuosos por posibles daños en los sensores de temperatura o presión en las estaciones. Los datos de las series fueron eliminados y corregidos los rangos finales de trabajo.

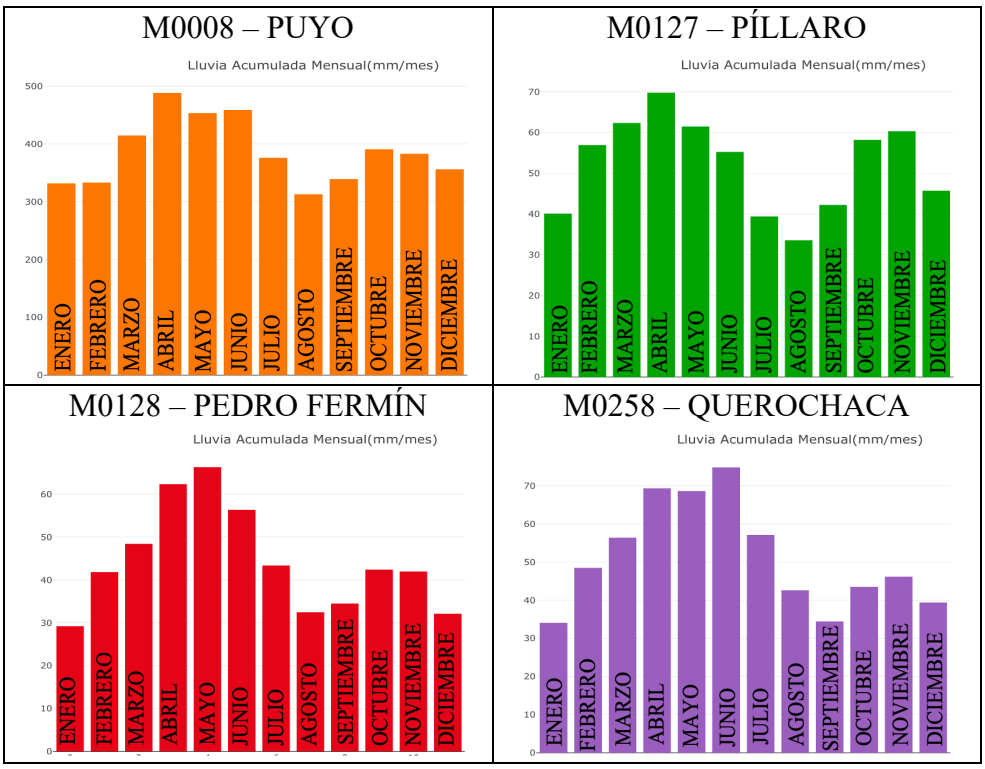
Cabe indicar que las estaciones con datos dañados o incompletos con un porcentaje inferior al 70% fueron eliminadas, los datos resultantes se presentan en la Tabla 3.

4.2. Análisis Climatológico

4.2.1. Precipitación

Figura 21

Gráfico de Barras de la Precipitación Mensual Acumulada Para las 4 Estaciones



Nota: Representación mensual acumulada para la precipitación de las cuatro estaciones.

Fuente: La Investigación.

A continuación, se presentan la precipitación mensual acumulada de las cuatro estaciones con una distribución bimodal clásica de la región interandina con presencia de dos periodos lluviosos durante el año (INHAMI & Palacios, 2014, p. 6).

Es interesante notar que la estación M0008-PUYO correspondiente a la amazonia también tiene un régimen bimodal, ya que en la zona existe una combinación de regímenes: unimodal, bimodal o trimodal aparentemente siendo la topografía de estos regímenes tal como lo mencionan.

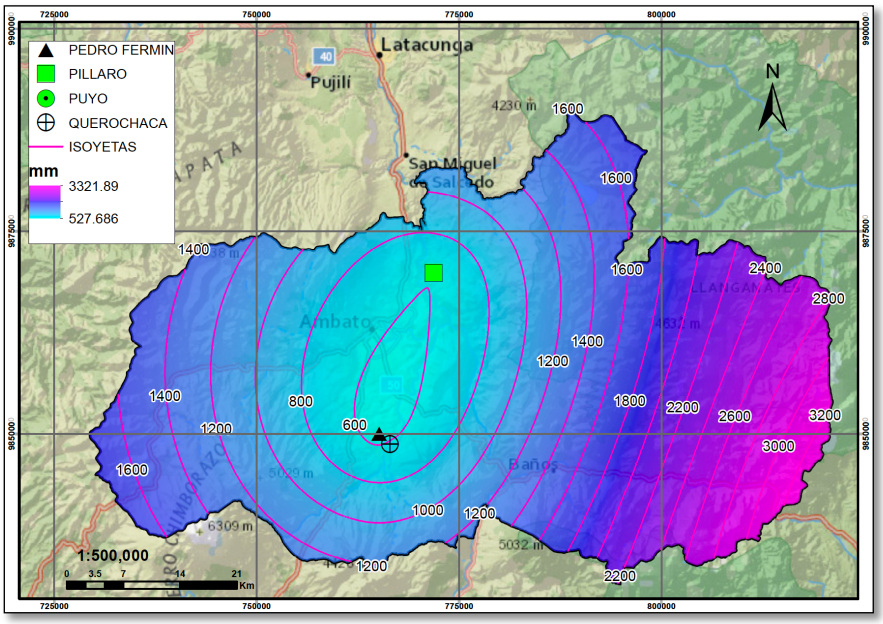
La precipitación en la provincia de estudio, representada en la Figura 21 varía entre 312.98 mm/mes para el mes de agosto y 488.42 mm/mes para el mes de abril registrados en la estación Puyo. En las estaciones Píllaro, Pedro Fermín y Querochaca oscilan entre 29.20 mm/mes a 74.80mm/mes en la temporada lluviosa

Como podemos observar en las estaciones de la región andina de la Figura 21 existe una estacionalidad común, registrando la temporada lluviosa en los meses de febrero a junio registrando valores máximos en los meses de abril, mayo y junio. Mientras que la temporada seca en la provincia es desde julio a diciembre.

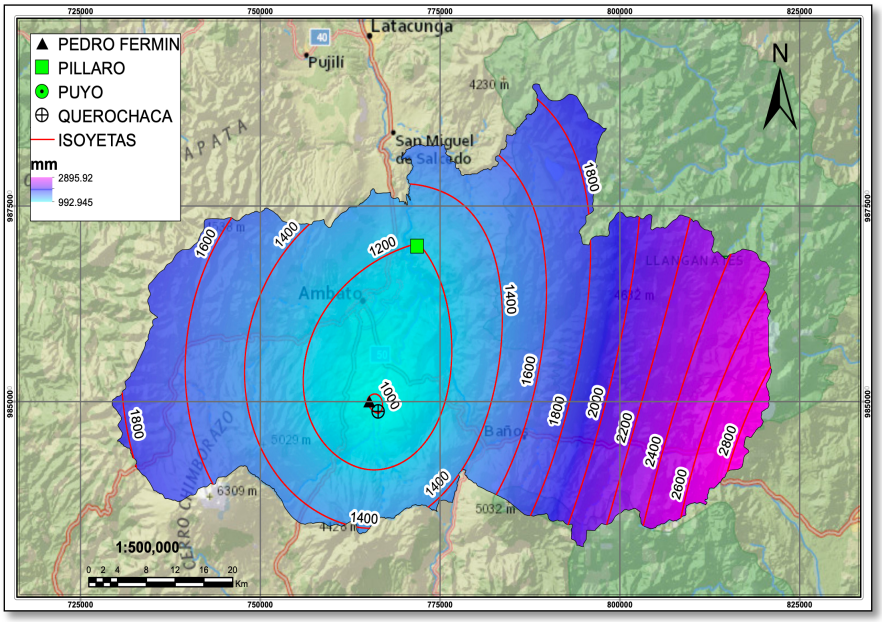
Figura 22

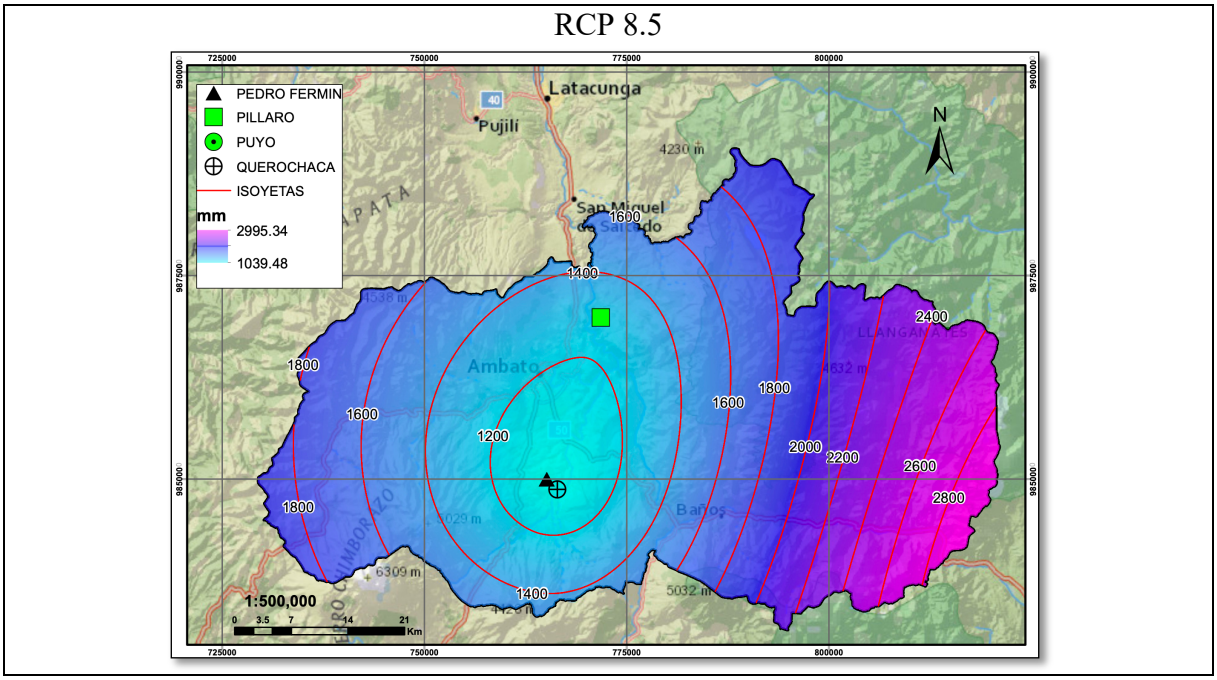
Mapa de Isoyetas de Datos in situ y Datos proyectados al 2070 en RCP 4.5 y RCP 8.5.

DATOS IN SITU



RCP 4.5





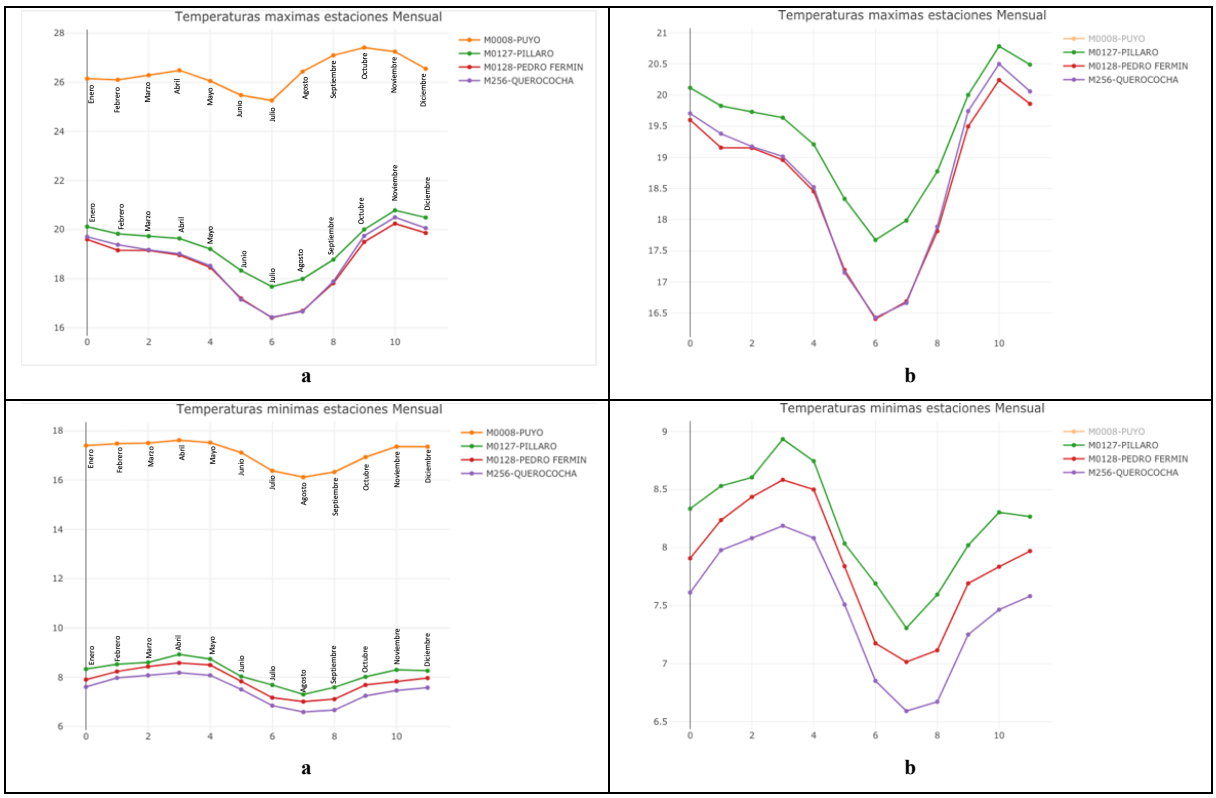
Nota: Representación cartográfica de la precipitación para datos: in situ, RCP 4.5 y RCP 8.5

Fuente: La Investigación.

4.2.2. Temperaturas máximas y mínimas

Figura 23

Series de Promedios con Datos Mensuales de Temperatura Máximas y Mínimas.



Nota: [a] Representación de las cuatro estaciones, [b] Representación de las estaciones de la región sierra sin incluir Puyo.

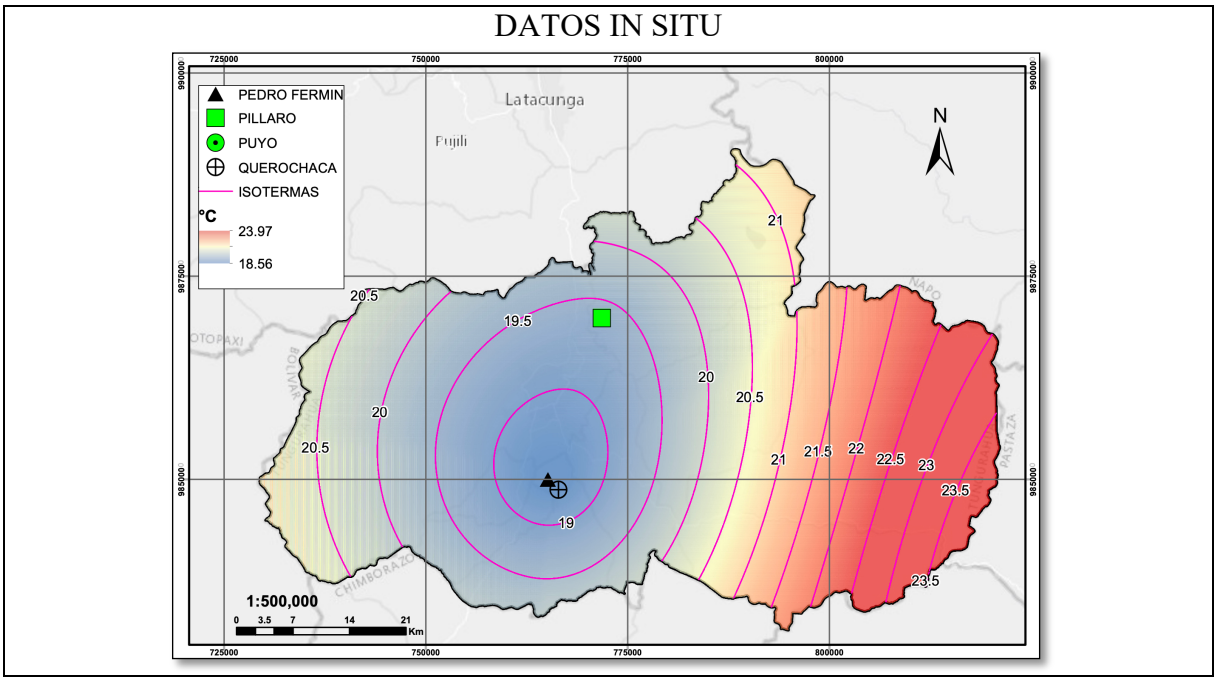
Fuente: La Investigación.

En la graficas presentadas en la Figura 23, se registra la temperatura más elevada en la estación M0008-Puyo con 27.41°C en el mes de octubre, seguido de la estación M0127-Píllaro con 20.78°C en el mes de noviembre, y con valores similares en el mismo mes las estaciones M0128-Pedro Fermín y M0258-Querochaca por la cercanía entre las dos estaciones de 1.8 km.

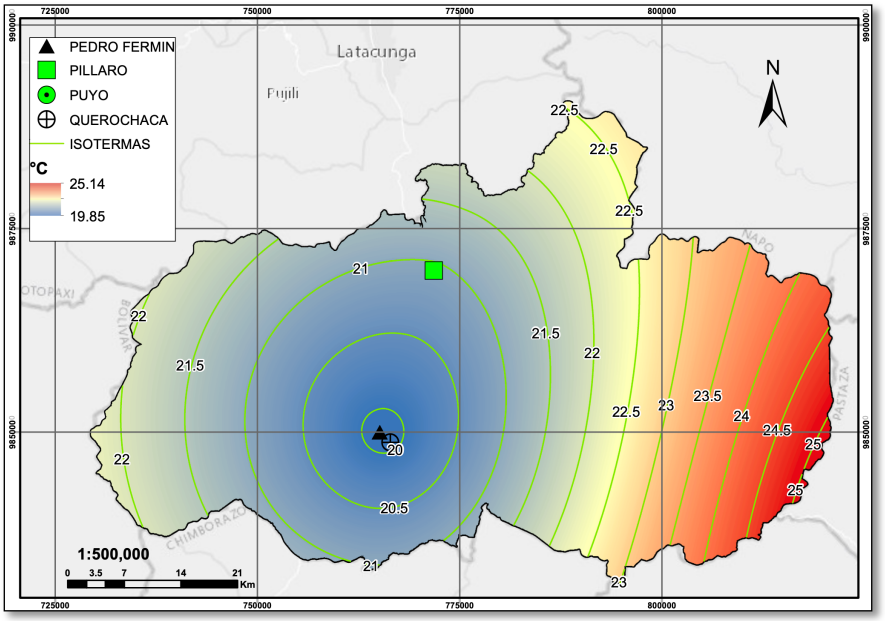
Para la temperatura mínima en la provincia de estudio se realizó el mismo procedimiento registrando temperaturas más bajas en la estación M0258-Querochaca con 6.67 °C en el mes de septiembre y valores más altos en la estación M0008-Puyo de 17.62 °C en el mes de abril.

Figura 24

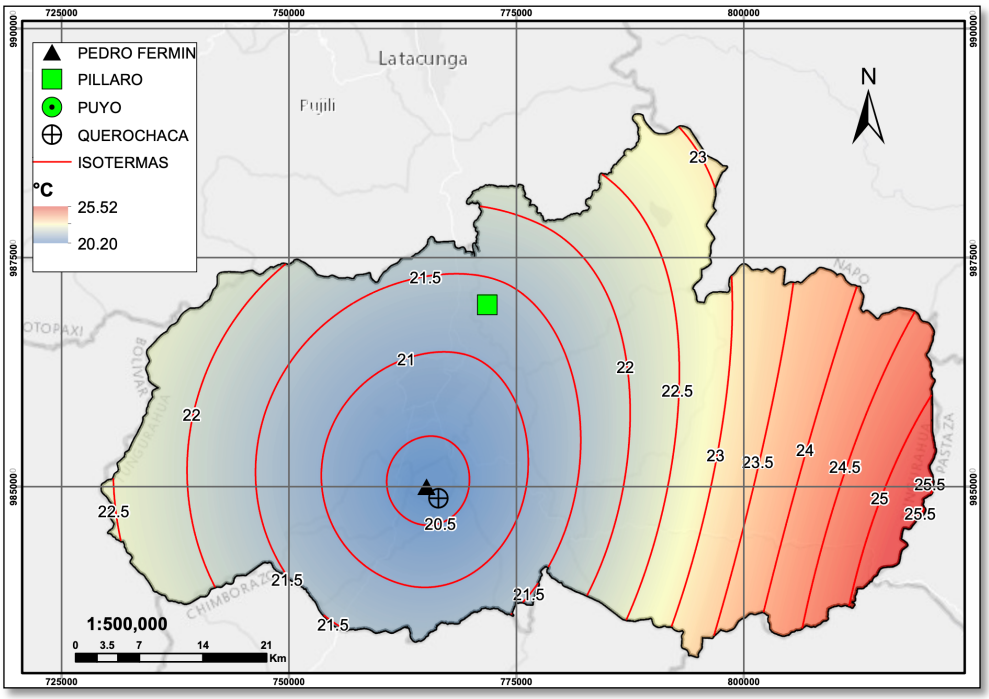
Mapa de Isotermas de Temperatura Máxima Para Datos in situ y Datos proyectados al 2070 en RCP 4.5 y RCP 8.5.



RCP 4.5



RCP 8.5



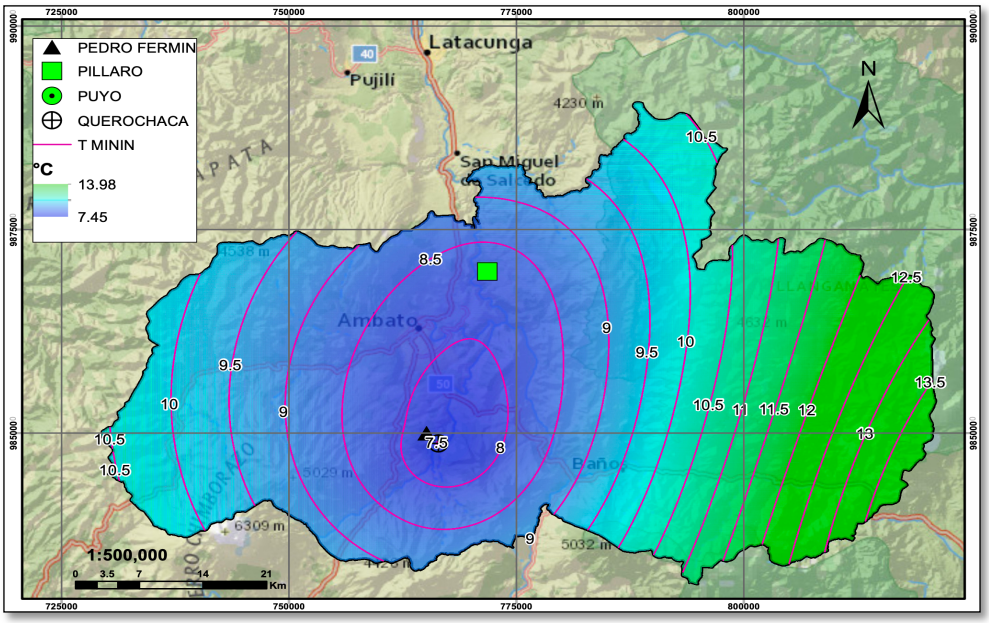
Nota: Representación cartográfica de la temperatura máxima para datos: in situ, RCP 4.5 y RCP 8.5

Fuente: La Investigación.

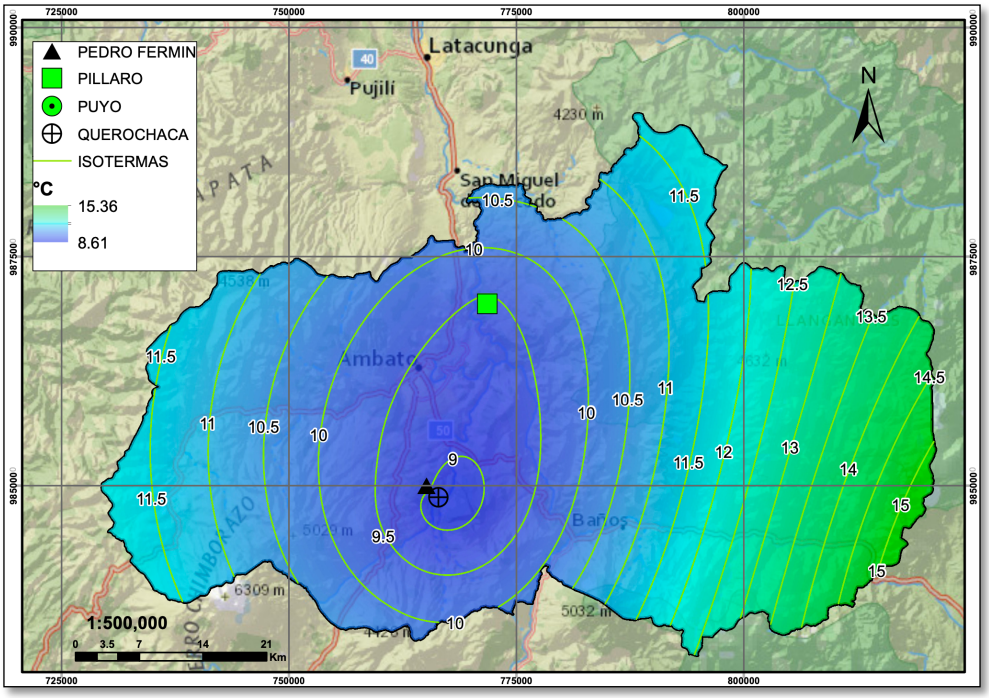
Figura 25

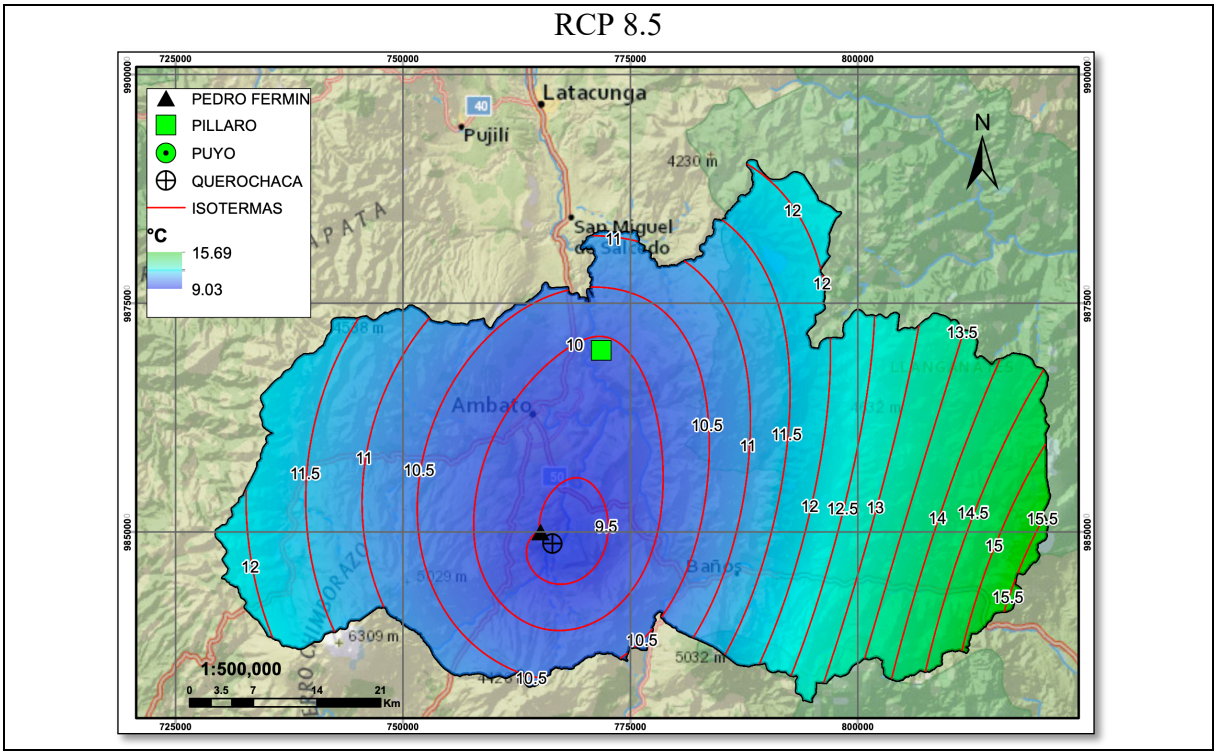
Mapa de Isotermas de Temperatura Mínima Para Datos in situ

DATOS IN SITU



RCP 4.5





Nota: Representación cartográfica de la temperatura mínima para datos: in situ, RCP 4.5 y RCP 8.5

Fuente: La Investigación.

4.2.3. Registro de Outliers y Récords

Tabla 6

Registro de Outliers y Récords en Datos in situ de las Estaciones M0008, M0127, M0128, M0258

Estación	Récord de Precipitación (mm)	Récord máximo de Tmin (°C)	Récord mín. de Tmin (°C)	Récord máximo de Tmax (°C)	Récord mínimo de Tmax (°C)
M0008 "Puyo"	164.7	21.1	8.6	32.6	13.9
M0127 "Píllaro"	49.9	16.1	-5.6	29.9	9
M0128 "Pedro Fermín"	42.2	13	-3.4	30	8.6
M0258 "Querochaca"	41.7	12.1	-1	26.5	9.2

Fuente: La Investigación.

4.2.4. Análisis estadístico por estación

En el Anexo 2, la representación mediante histogramas para la temperatura y precipitación podemos observar una distribución con sesgo hacia la derecha para las estaciones de Puyo, Pedro Fermín y Querochaca para temperatura mínima el mismo no está acentuado en la estación de Píllaro, siendo un indicador del efecto isla de calor urbana posiblemente por la creciente urbanización y construcción de vías asfaltadas.

Es muy evidente en la estación puyo el efecto de isla de calor por la presencia de una carretera asfaltada cercana, al tener datos mayores a 30 años en las 4 estaciones, también evidenciamos en pillarlo un cambio no tan notable por la mayor antigüedad de estructuras de concreto y carreteras.

Para temperatura máxima, en las estaciones Píllaro, Pedro Fermín y Querochaca tienen una distribución centrada, en el puyo podemos observar una distribución con sesgo hacia la derecha el cual es un indicador de calentamiento en la región de la amazonia también descrito por la TCN, la cual dice que hay un cambio más evidente en la región amazónica que en la región andina.

Sobre la precipitación en la estación puyo la distribución nos indica la presencia de eventos extremos evidentes, seguido de la estación Querochaca y para las estaciones Pedro Fermín y Píllaro manifiestan eventos pequeños.

4.2.4.1 Precipitación

Tabla 7

Resumen Estadístico de la Precipitación de las Estaciones M0008, M0127, M0128, M0258

Variable	Puyo	Píllaro	Pedro Fermín	Querochaca
Min	0.1	0.1	0.1	0.1
Q1	2.3	0.6	1	0.5

Variable	Puyo	Píllaro	Pedro Fermín	Querochaca
Q2	8.3	1.7	2	1.3
Promedio	14.74	3.36	3.59	2.89
Q3	20.60	4.2	4.4	3.5
Max	164.70	49.9	42.2	41.70
Sd	17.99	4.54	4.5	4.17
Precipitación acumulada anual	4638.49	603.73	527.46	617.05

Fuente: La Investigación.

4.2.4.2 Temperatura Máxima

Tabla 8

Resumen Estadístico de la Temperatura Máxima de las estaciones M0008, M0127, M0128, M0258

Variable	Puyo	Píllaro	Pedro Fermín	Querochaca
Min	13.90	9	8.6	9.20
Q1	25.00	17.5	17	16.90
Q2	26.70	19.4	18.80	18.80
Promedio	26.38	19.34	18.56	18.69
Q3	28.00	21.20	20.40	20.60
Max	32.60	29.90	30	26.5
Sd	2.27	2.66	2.45	2.58

Fuente: La Investigación.

4.2.4.3 Temperatura Mínima

Tabla 9

Resumen estadístico de la Temperatura Mínima de las estaciones M0008, M0127, M0128, M0258

Variable	Puyo	Píllaro	Pedro Fermín	Querochaca
Min	8.6	-5.6	-3.4	-1
Q1	16.3	7.1	6.8	6.4
Q2	17.3	8.5	8.2	7.9
Promedio	17.1	8.17	7.85	7.47
Q3	18.1	9.5	9.20	8.9
Max	21.1	16.1	13	12.10
Sd	1.49	1.92	1.87	1.99

Fuente: La Investigación.

4.3. Índices de Cambio Climático sobre datos in situ.

Para el análisis de los índices de cambio climático se toma en cuenta los datos disponibles de temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación, de cada estación en el estudio, desde el año 1960 al 2018 para la estación M0008 - PUYO, para la estación de Píllaro – M0127 desde 1964 al 2014, para la estación de M0128 - PEDRO FERMÍN desde 1978 al 2015 y para la estación M0258 – QUEROCHACA desde el año 1979 al 2018, se utilizaron las 4 estaciones al tener mayor número de datos dando una mayor significancia estadística.

Se analizan los resultados de los índices recomendados por IPCC obtenidos en el desarrollo del Software RClimDex en conjunto con R, los mismos que son clasificados de acuerdo con las características meteorológicas de la provincia del Tungurahua.

Los índices recomendados son representados con una línea entre cortada definida por la media móvil, la línea continua en la gráfica representa la recta ajustada por el método de mínimos cuadrados, el error y el valor de R2 representan el porcentaje de datos que se ajustan al modelo.

4.3.1. Índices de temperatura

Tabla 10

Resumen de los Índices de Temperatura Recomendados por la ETCCI para las cuatro Estaciones en la Data in situ

Índice	M0008 Puyo	M0127 Píllaro	M0128 Pedro Fermín	M0258 Querochaca
Valor mensual máximo de temperatura máxima diaria [◦C/año] (TXx)	0.022**	0.041	0.048**	0.01
p- value (Intensidad)	0	0.227	0.049	0.521
Valor mensual mínimo de la temperatura máxima diaria [◦C] (TXN)	0.024**	0.029	0.031*	0.018
p- value	0.026	0.328	0.136	0.255

Índice	M0008 Puyo	M0127 Píllaro	M0128 Pedro Fermín	M0258 Querochaca
Días cálidos: días con temperatura máxima sobre el percentil 90 [%/año] (TX90P)	0.4**	---	0.02	0.21*
p- value	0	---	0.818	0.133
Días fríos: Días con temperatura máxima menor al percentil 10 [%] (TX10P)	-0.198	---	-0.124*	-0.098
p- value (Intensidad)	0	---	0.02	0.201
Días Tropicales (Tx>25◦) [día] SU25	0.777**	0.119	0.009*	-0.003
p- value (Frecuencia)	0	0.239	0.099	0.798
Valor mensual máximo de temperatura mínima diaria [◦C](TNx)	0.026	0.011	0.003	0.042
p- value	0	0.639	0.764	0
Valor mensual mínimo de temperatura mínima diaria [◦C] (TNn)	0.038**	0.043	0.024	0.072**
p- value (Intensidad-Aumento en la T, efecto isla de calor)	0	0.272	0.33	0
Noches tropicales: número de días en un año en que la temperatura mínima supero los 20 ºC [día] (TR20)	0.073*	0	0	0
p- value	0.019	NaN	NaN	NaN
Noches cálidas: días cuando la temperatura mínima pasa el percentil 90 [%] (TN90P)	0.862	---	0.168*	0.948**
p- value	0	---	0.214	0
Noches frías: Días cuando la temperatura mínima es menor al percentil 10 [%] (TN10P)	-0.429**	---	-0.212	-0.603**
p- value	0	---	0.043	0
Rango Diurno de temperatura Tx-Tn [◦C/año] (DTR)	-0.009*	0.039	-0.018	-0.045
p- value	0.036	0.045	0.063	0.001
Indicador de la duración de periodos calientes [día/año] (WSDI)	0.007	---	0.018	0.04
p- value	0.668	---	0.8	0.501
Indicador de la duración de periodos fríos (CSDI) [día/año]	-0.01	---	-0.089	-0.077
p-value	0.225	---	0.283	0.321

Nota: Resultados de los Índices de Cambio Climático para la temperatura en datos in situ. Tomado de Índices De Cambio Climático Y Su Afectación A La Agricultura, Caso De Estudio Cantón Ambato (Guamán, 2020, p.58)

En la Tabla 10, muestra el resultado de los índices de cambio climático para la temperatura de datos in situ en el Índice TX90p, los resultados obtenidos en este estudio no se generaron en la estación M0127-Píllaro, en el índice Tx10p no se generó un resultado para M0008-Puyo y en lo que se refiere al valor de la pendiente en la estación M0128-Pedro Fermín disminuyo de -0.124% a -0.092% y para la estación M0258-Querochaca el valor de la pendiente

disminuyo de -0.098% a -0.062%, en lo referente a la significancia estadística para M0128-Pedro Fermín aumento y para M028-Querochaca disminuyo.

Para temperatura mínima en el índice TN90p en el presente estudio no se generó resultados para la estación M0008-Puyo en lo referente a al mismo índice, pero en las otras estaciones el cambio fue mínimos manteniéndose la significancia estadística. Para TN10p en temperatura mínima en este estudio no se presentó resultados para la estación M0008-Puyo ni para M0127-Píllaro, aunque se obtuvieron valores menores en la pendiente para las estaciones con una significancia estadística alta.

Para el índice WSDI no se generó resultados para la estación M0008-Puyo en este estudio y para el índice CSDI no se pudo generar resultados en la estación M0008-Puyo ni M0127-Píllaro, los posibles cambios con el estudio previo comparado pueden ser por control de calidad incompleto en los datos proporcionados por el INAMHI.

4.3.3. Índices de Precipitación

Tabla 11

Resumen de los Índices de Precipitación Recomendados por la ETCCI para las cuatro Estaciones en la Data in situ.

Índice	M0008 Puyo	M0127 Píllaro	M0128 Pedro Fermín	M0258 Querochaca
Días secos consecutivos [día/año] (CDD)	0.018	0.041	-0.046	-0.077
p- value	0.398	0.788	0.662	0.594
Días húmedos consecutivos [día/año] (CWD)	-0.48	-0.117	0.04	0.034
p- value (Frecuencia Inundaciones)	0.349	0.002	0.216	0.358
Índice de intensidad diaria [mm/día/año] (SDII)	0.049**	-0.006	0.13*	0.008
p- value	0	0.504	0.175	0.35
Cantidad Máxima de precipitación en 5 días consecutivos [mm/año] (RX5D)	0.659	-0.033	0.063	-0.213
p- value (Intensidad)	0.13	0.868	0.762	0.341
Cantidad Máxima de precipitación en un día [mm/Día] (RX1D)	0.467*	-0.176*	-0.02	-0.173*
p- value (Intensidad)	0.021	0.215	0.857	0.114

Índice	M0008 Puyo	M0127 Píllaro	M0128 Pedro Fermín	M0258 Querochaca
Días extremadamente lluviosos (precipitación sobre el percentil 99) [mm/año] (R99p)	4.11*	-0.317	0.783	-0.613
p- value	0.013	0.579	0.225	0.26
Días muy lluviosos (precipitación sobre el percentil 95) [mm/Día/año] (R95p)	6.513*	-1.099*	1.182*	0.788
p- value	0.011	0.215	0.222	0.464
Días al año en los que la precipitación muy intensa supera los 25mm [días/año] (R25mm)	0.192*	-0.005	0.027	-0.017
p- value	0.025	0.754	0.194	0.315
Días al año con precipitación muy intensa (mayor a 20mm/día) (R20mm) [días/año]	0.116*	-0.05	0.028	-0.007
p- value	0.178	0.139	0.281	0.787
Días al año con precipitación intensa (mayor a 10mm/día) [días/año] (R10mm)	0.033	-0.077	0.065	0.097
p-value	0.757	0.383	0.367	0.214
Precipitación total anual en los días húmedos [mm/año] (PRCPTOT)	0.032*	-3.012	3.038*	1.681
p- value (Frecuencia)	0.015	0.152	0.114	0.38
Duración de la estación de cultivo [día/año] (GSL)	-0.002	-0.007	0.017	0.013
p- value	0.886	0.787	0.806	0.478
Días de heladas [día/año] (FD0)	-----	-0.031	-0.005	-0.029**
p- value	-----	0.297	0.257	0.009

Nota: Resultados de los Índices de Cambio Climático para la precipitación en datos in situ. Tomado de Índices De Cambio Climático Y Su Afectación A La Agricultura, Caso De Estudio Cantón Ambato (Guamán, 2020, p.74)

En la Tabla 11, se muestra los resultados de los índices de cambio climático para datos in situ en este caso los resultados obtenidos para este estudio fueron los mismo tomados de (Guamán, 2020, p.74).

4.4 Downscaling estadístico

4.4.1 Comparación de datos in situ vs datos históricos modelados

4.4.1.1. Temperatura Máxima (°C)

Tabla 12

Resumen Estadístico de los Datos in situ vs los Datos modelados Históricos para Temperatura Máxima

Mes	Variable	Valor in situ Puyo	Modelo Puyo	Valor in situ Pillaro	Modelo Pillaro	Valor in situ Pedro Fermín	Modelo Pedro Fermín	Valor in situ Querochaca	Modelo Querochaca
Enero	Min	20.00	27.00	13.70	17.90	10.80	18.90	12	18.90
	Max	32	31.60	26.60	22.90	25.00	24.10	25.50	24.10
	Promedio	26.33	29.45	20.55	20.39	19.58	21.42	19.75	21.44
	sd	2.20	0.73	2.37	0.78	2.28	0.80	2.41	0.79
Febrero	Min	19	27.60	12.40	18.20	12.60	19.20	10.70	19.20
	Max	31.70	31.20	29.70	22.20	25	23.30	25.90	23.30
	Promedio	26.18	29.33	20.2	20.05	19.09	21.08	19.40	21.08
	sd	2.36	0.64	2.62	0.69	2.31	0.70	2.46	0.71
Marzo	Min	19.80	27.80	10.60	17.90	11	19	11.40	19
	Max	31.40	32.40	27.20	23.30	30	24.40	24.50	24.40
	Promedio	26.46	29.42	20.28	20.01	19.18	21.03	19.25	21.04
	sd	2.31	0.66	2.52	0.72	2.23	0.73	2.33	0.75
Abril	Min	19.90	27.50	12.60	18	13	19	12.30	19
	Max	30.70	31.80	26	22.50	24	23.50	24.90	23.50
	Promedio	26.63	29.37	19.87	20.09	18.98	21.12	19.03	21.15
	sd	2.00	0.61	2.18	0.65	1.95	0.66	2.16	0.66
Mayo	Min	19	27.30	11.90	18.20	10.60	19.30	12.20	19.50
	Max	30.30	31.00	29.80	22.10	23.20	23.20	24.80	23.20
	Promedio	26.18	29.10	19.58	20.26	18.49	21.26	18.57	21.33
	sd	2.10	0.65	2.26	0.69	1.99	0.70	2.13	0.69
Junio	Min	18.50	26.60	10.80	17.60	11.20	18.60	10.80	18.60
	Max	29.80	31.20	27.20	22.80	26	23.90	23.00	23.90
	Promedio	25.56	28.52	18.33	19.77	17.22	20.77	17.19	20.87
	sd	2.10	0.80	2.42	0.82	1.95	0.82	2.02	0.80
Julio	Min	13.90	26.10	10.40	17.30	8.60	18.30	9.20	18.30
	Max	29.80	31.10	27.50	22.50	21.80	23.60	22.40	23.60
	Promedio	25.37	28.38	17.67	19.61	16.43	20.63	16.50	20.68
	sd	2.32	0.78	2.67	0.79	2.12	0.78	2.15	0.79

Mes	Variable	Valor in situ Puyo	Modelo Puyo	Valor in situ Pillaro	Modelo Pillaro	Valor in situ Pedro Fermín	Modelo Pedro Fermín	Valor in situ Querochaca	Modelo Querochaca
Agosto	Min	16.30	26.90	10.50	17.70	9.80	18,70	10.20	18.90
	Max	32.60	31.90	25.20	22.90	23.60	23.80	23.50	23.80
	Promedio	26.57	29.53	18.61	20.36	16.72	21.30	16.66	21.36
	sd	2.38	0.81	2.43	0.82	2.18	0.82	2.16	0.80
Septiembre	Min	18.70	28.00	11.90	18.20	10.20	19.30	10	19.30
	Max	31.50	33.60	24.80	23.90	23	24.80	23.80	24.80
	Promedio	27.29	30.28	19.30	21.06	17.82	22.04	17.91	22.08
	sd	2.31	0.84	2.41	0.87	2.22	0.87	2.24	0.84
Octubre	Min	19.80	27.90	12.40	18.40	12.40	19.40	12.60	19.40
	Max	31.60	33.40	26.50	24.30	24	25.30	26.50	25.30
	Promedio	27.60	30.70	20.15	21.32	19.54	22.32	19.71	22.39
	sd	2.03	0.87	2.32	0.90	2.08	0.92	2.27	0.87
Noviembre	Min	20	28.20	13.20	19.00	10.50	20	11.80	20
	Max	32.10	33.10	28.50	24.30	24.80	25.30	25.90	25.30
	Promedio	27.34	30.58	21.05	21.57	20.25	22.58	20.46	22.62
	sd	1.97	0.78	2.33	0.84	1.98	0.85	2.15	0.83
Diciembre	Min	20.10	27.70	13.20	18.40	12	19.5	11.90	19.50
	Max	31.10	32.50	26.90	23.60	29.50	24.7	25.30	24.70
	Promedio	26.65	29.86	20.84	20.93	19.83	22	20.14	22.02
	sd	2.04	0.78	2.34	0.84	2.09	0.87	2.27	0.86

Fuente: La Investigación.

4.4.1.2. Temperatura Mínima (°C)

Tabla 13

Resumen Estadístico de los Datos in situ vs los Datos modelados históricos para temperatura mínima

Mes.	Variable.	Valor in situ Puyo	Modelo Puyo	Valor in situ Pillaro	Modelo Pillaro	Valor in situ Pedro Fermín	Modelo Pedro Fermín	Valor in situ Querochaca	Modelo Querochaca
Enero	Min	11	14.40	2.20	3.30	1.20	4.20	0	4.20
	Max	21	17.90	12	7.40	12	8.30	11	8.30
	Promedio	17.63	16.09	8.36	5.32	7.90	6.22	7.53	6.24
	sd	1.34	0.52	1.77	0.57	2.00	0.57	2.10	0.57
Febrero	Min	13	14.40	0.80	3.60	1.50	4.60	1	4.60
	Max	21.10	17.50	12	7.10	11.60	8	11.60	8.00
	Promedio	17.71	16.11	8.62	5.53	8.26	6.47	7.86	6.48
	sd	1.31	0.50	1.59	0.55	1.76	0.55	1.90	0.55
Marzo	Min	12.10	14.30	2.7	3.30	1.80	4.20	-0.6	4.20
	Max	20.20	18.10	11.40	7.20	11.80	8.20	11.30	8.20
	Promedio	17.75	16.38	8.68	5.67	8.42	6.59	7.95	6.61
	sd	1.23	0.50	1.52	0.52	1.67	0.53	1.75	0.53
Abril	Min	12.80	14.90	1.20	4	2.40	4.90	1	4.90
	Max	20.30	17.90	11.50	7.5	11.50	8.40	11	8.40
	Promedio	17.82	16.59	8.86	5.96	8.58	6.86	8.06	6.88
	sd	1.19	0.43	1.49	0.48	1.51	0.49	1.63	0.50
Mayo	Min	10.80	13.70	2.5	3.6	1	4.50	2.00	4.50
	Max	20.50	17.70	12.40	7.2	12.20	8.20	10.90	8.20
	Promedio	17.45	16.39	8.82	5.89	8.50	6.79	7.99	6.82
	sd	1.20	0.65	1.57	0.64	1.51	0.65	1.59	0.66
Junio	Min	12.70	12.80	-1.7	2.5	1	3.40	-0.50	3.40
	Max	19.90	17.90	12.30	7.8	11	8.70	10.40	8.70
	Promedio	17.34	15.75	8.03	5.41	7.83	6.32	7.41	6.42
	sd	1.19	0.89	1.81	0.85	1.68	0.89	1.76	0.86
Julio	Min	9.50	12.30	0	2.5	0.60	3.50	-0.90	3.50
	Max	19.40	16.80	13.90	7.2	10.60	8.30	10.50	8.30
	Promedio	16.56	14.93	7.69	4.82	7.17	5.76	6.75	5.82
	sd	1.52	0.78	1.76	0.72	1.83	0.73	1.97	0.73
Agosto	Min	10	12.30	-2	2.4	1	3.30	-0.40	3.30
	Max	19.30	16.50	11	6.7	10.20	7.70	10	7.70
	Promedio	16.27	14.86	7.35	4.75	7.05	5.69	6.50	5.71
	sd	1.56	0.70	1.94	0.65	1.75	0.66	1.93	0.67

Mes	Variable	Valor in situ Puyo	Modelo Puyo	Valor in situ Pillaro	Modelo Pillaro	Valor in situ Pedro Fermín	Modelo Pedro Fermín	Valor in situ Querochaca	Modelo Querochaca
Septiembre	Min	10.50	13.60	0	3.30	0.20	4.20	-0.10	4.20
	Max	20.40	17.90	14.80	7.50	10.50	8.40	10.50	8.40
	Promedio	16.47	15.48	7.70	5.25	7.11	6.19	6.59	6.22
	sd	1.57	0.66	1.99	0.67	1.88	0.68	1.99	0.69
Octubre	Min	11.60	14.20	1.80	3.5	1.50	4.50	0.90	4.50
	Max	20.00	18.40	12.80	7.9	11.60	8.80	11.50	8.80
	Promedio	17.13	16.41	8.06	5.70	7.71	6.59	7.15	6.65
	sd	1.38	0.65	1.78	0.66	1.77	0.68	1.90	0.69
Noviembre	Min	12	14.10	-0.6	3.2	-3.40	4.20	-0.60	4.20
	Max	20.50	18.00	11.6	7.20	11.60	8.20	11.60	8.20
	Promedio	17.61	16.27	8.38	5.32	7.89	6.22	7.34	6.27
	sd	1.36	0.62	2.00	0.67	2.00	0.68	2.11	0.68
Diciembre	Min	12	13.30	1.6	2.10	1	3	-1.00	3
	Max	20.60	18.00	12	7.10	11.60	7.90	12	7.90
	Promedio	17.66	16.13	8.32	5.31	7.98	6.19	7.47	6.23
	sd	1.30	0.56	1.85	0.62	2.00	0.63	2.17	0.63

Fuente: La Investigación.

4.4.2 Factores de corrección para el Downscaling estadístico

En las Tabla 14 y Tabla 15 se presentan los valores utilizados en la corrección de sesgo mientras que en el Anexo 3 de la corrección de sesgo podemos observar en la estación Puyo un adecuado modelamiento en temperatura mínima, mientras que para la temperatura máxima el cambio fue aceptable.

En el Anexo 4 y Anexo 5 se presenta la corrección de sesgo para la estación Píllaro y Pedro Fermín tienen un correcto modelamiento en lo que se refiere a temperaturas máximas y mínimas sin embargo existe un tope evidente respecto a las temperaturas extremadamente altas en el modelamiento. Mientras que para la estación Querochaca presentada en el Anexo 6 es la es que mejor resultado no brinda.

Para la precipitación en las cuatro estaciones las gráficas nos indican como no son bien interpretados los eventos de precipitación extrema.

Tabla 14

Resultados de la Corrección de Sesgo para Temperaturas Máximas

Mes	Promedio de sesgo Puyo	Promedio de sesgo Píllaro	Promedio de sesgo Pedro Fermín	Promedio de sesgo Querochaca
Enero	3.12	-0.16	1.84	1.69
Febrero	3.15	-0.15	1.99	1.68
Marzo	2.96	-0.27	1.85	1.79
Abril	2.74	0.22	2.14	2.12
Mayo	2.92	0.68	2.77	2.76
Junio	2.96	1.44	3.55	3.68
Julio	3.01	1.94	4.2	4.18
Agosto	2.96	1.75	4.58	4.70
Septiembre	2.99	1.76	4.22	4.17
Octubre	3.1	1.17	2.78	2.68
Noviembre	3.24	0.52	2.33	2.16
Diciembre	3.21	0.09	2.17	1.88

Nota: Los valores positivos indican sobre estimación del modelo vs datos in situ, y los negativos subestimación

Fuente: La Investigación.

Tabla 15

Resultados de la Corrección de Sesgo para Temperaturas Mínimas

Mes	Promedio de sesgo Puyo	Promedio de sesgo Píllaro	Promedio de sesgo Pedro Fermín	Promedio de sesgo Querochaca
Enero	-1.54	-3.04	-1.68	-1.29
Febrero	-1.60	-3.09	-1.79	-1.38
Marzo	-1.37	-3.01	-1.83	-1.34
Abril	-1.23	-2.9	-1.72	-1.18
Mayo	-1.06	-2.93	-1.71	-1.17
Junio	-1.59	-2.62	-1.51	-0.99
Julio	-1.63	-2.87	-1.41	-0.93
Agosto	-1.41	-2.60	-1.36	-0.79
Septiembre	-0.99	-2.45	-0.92	-0.37
Octubre	-0.72	-2.36	-1.12	-0.50
Noviembre	-1.34	-3.06	-1.67	-1.07
Diciembre	-1.53	-3.02	-1.79	-1.24

Nota: Los valores positivos indican sobre estimación del modelo vs datos in situ, y los negativos subestimación

Fuente: La Investigación.

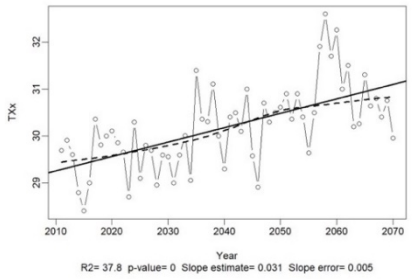
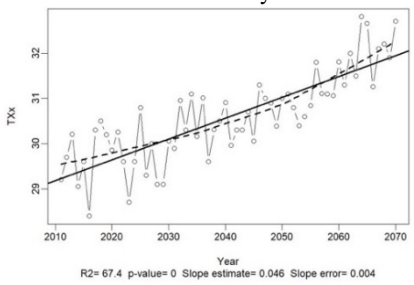
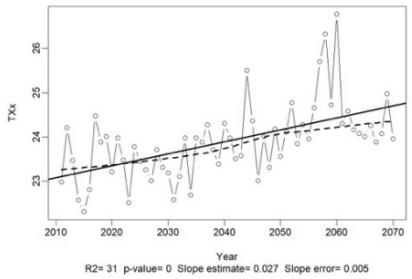
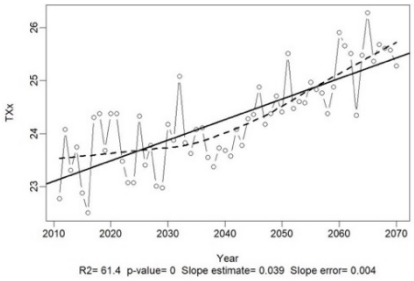
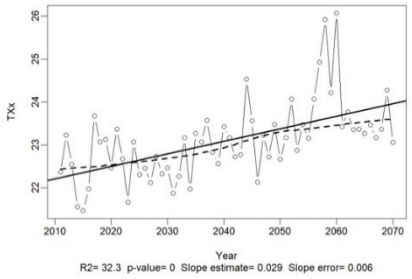
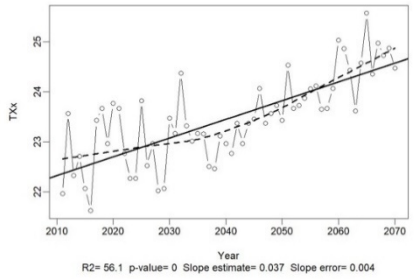
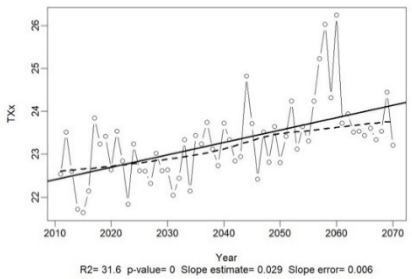
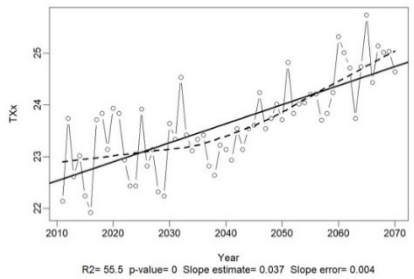
4.5.Análisis de los índices de cambio climático proyectados al año 2070

4.5.1. Índices de temperatura máxima

4.5.1.1. TXx (Valor mensual máximo de temperatura máxima diaria [°C/año])

Figura 26

Resultado del Índice TXx para RCP 4.5 y RCP 8.5

RCP 4.5	RCP 8.5
TXx M0008-Puyo 4.5 	TXx M0008-Puyo 8.5 
TXx M127-Píllaro 4.5 	TXx M127-Píllaro 4.5 
TXx M128-Pedro Fermín 4.5 	TXx M128-Pedro Fermín 4.5 
TXx M0258- Querochaca 4.5 	TXx M0258- Querochaca 4.5 

Nota: A la izquierda se encuentra los resultados para el índice TXx en RCP 4.5 y a la derecha en RCP 8.5

Fuente: La Investigación.

Discusión: En la Figura 26, el resultado del índice TXx valores registrados en horas posteriores del medio día, para la estación M0008-Puyo en el escenario 4.5 que presenta un récord de temperatura máxima de 32.6°C en octubre del año 2058 y un récord de temperatura mínima de 23.19°C en el año 2018, indican un incremento muy significativo (p-value = 0) y para el escenario 8.5 registra un récord de temperatura máxima de 32.81°C en el año 2064 y un récord de temperatura mínima de 23.44°C en el año 2024 en el escenario 8.5 (p-value = 0) indica una significancia estadística alta.

La estación M0127-Píllaro para el escenario 4.5 registra un récord de temperatura máxima de 26.78°C en noviembre del año 2011 y un récord de temperatura mínima de 16.06°C en julio del año 2011, para el escenario 8.5 de la estación Píllaro los récords registrados para temperatura máxima 26.28°C y para temperatura mínima de 16.26°C, en el caso de los dos escenarios para la estación Píllaro son estadísticamente significativos(p-value=0).

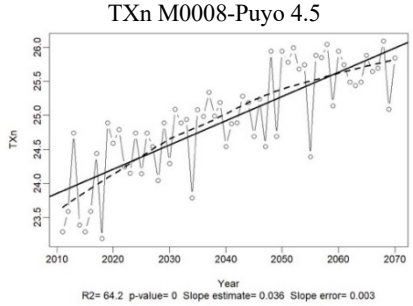
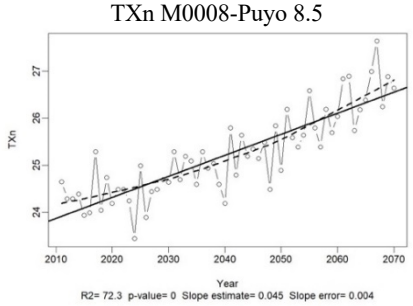
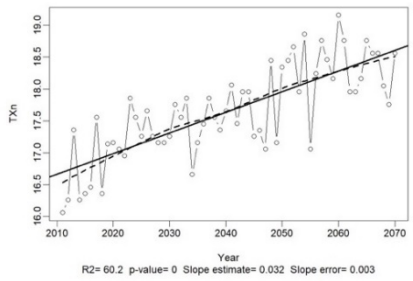
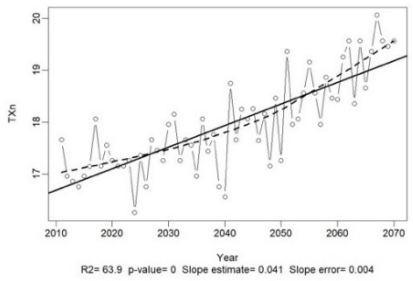
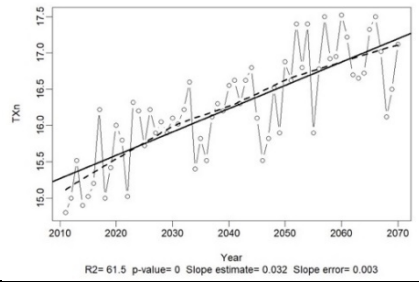
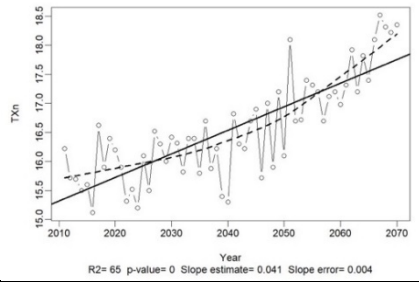
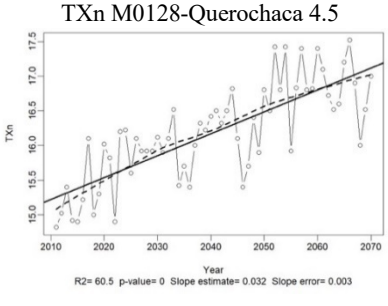
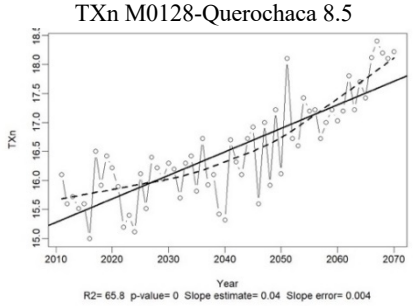
La estación M0128-Pedro Fermín en los dos escenarios presenta una significancia estadística alta (p-value= 0), para el escenario 4.5 tiene un récord de temperatura máxima de 26.07°C en el año 2060 y un récord mínimo de temperatura mínima de 14.08°C en el año 2011, Mientras que para el escenario 8.5 el récord de temperatura máxima es de 25.57°C en noviembre del año 2065.

La estación M0258-Querochaca para el escenario 4.5 tiene un récord de temperatura máxima de 26.24°C en noviembre del año 2060 y un récord de temperatura mínima de 14.82 en julio del año 2011, para el escenario 8.5 tiene un récord de temperatura máxima de 25.74°C en noviembre del año 2065 y un récord de temperatura mínima de 15°C en julio de 2016 para la estación Querochaca en los dos escenarios presentan una significancia alta (p-value=0).

4.5.1.2. TXn (Valor mensual mínimo de temperatura máxima diaria [◦C])

Figura 27

Resultado del Índice TXn para RCP 4.5 y RCP 8.5

RCP 4.5	RCP 8.5
TXn M0008-Puyo 4.5 	TXn M0008-Puyo 8.5 
TXn M0127-Píllaro 4.5 	TXn M0127-Píllaro 8.5 
TXn M0128-Pedro Fermín 4.5 	TXn M0128-Pedro Fermín 8.5 
TXn M0128-Querochaca 4.5 	TXn M0128-Querochaca 8.5 

Nota: A la izquierda se encuentra los resultados para el índice TXn en RCP 4.5 y a la derecha en RCP 8.5

Fuente: La Investigación.

Discusión: En la Figura 27, se muestra el resultado de TXn, valores registrados en primeras horas de la mañana, para la estación de M0008-Puyo se registra una significancia estadística alta (p-value=0) con y un valor creciente en la pendiente de 0.036°C/año para el

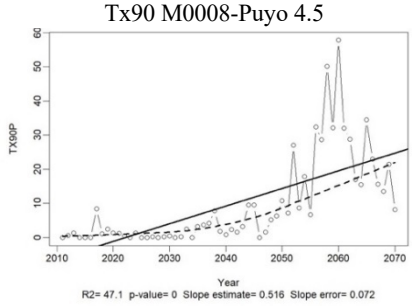
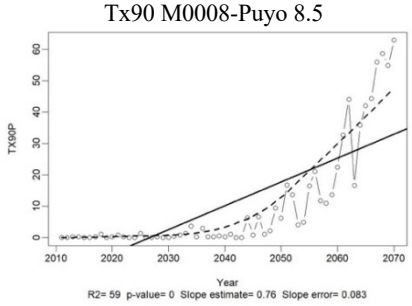
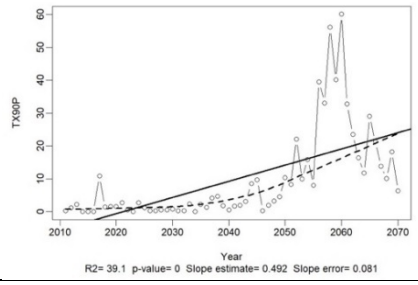
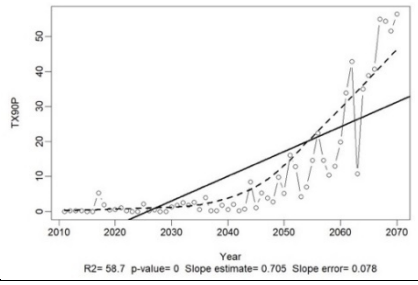
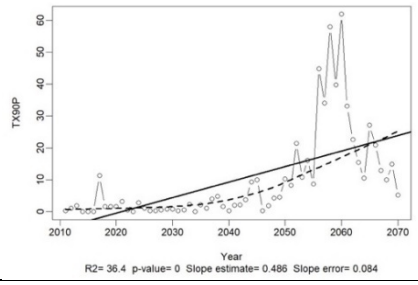
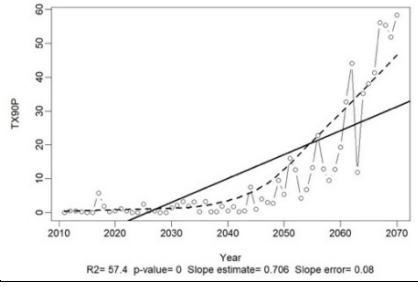
escenario 4.5 y para el escenario 8.5 en la estación se registra un valor en la pendiente de 0.045°C/año.

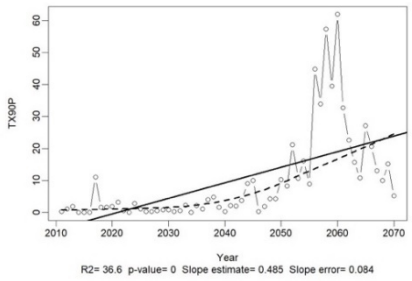
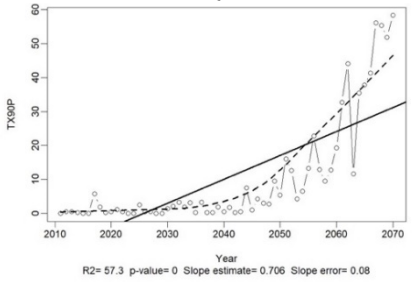
En las estaciones M0127-Píllaro, M0128-Pedro Fermín y M0258-Querochaca también se observa una significancia estadística alta (p-value=0) en los dos escenarios. En las tres estaciones el valor de la pendiente para el escenario 4.5 es creciente con un valor de 0.032°C/año y para el escenario 8.5 la pendiente tiene un valor de 0.041°C/año.

4.5.1.3. Tx90p (Porcentaje de días cuando TX>90th percentil [%/año])

Figura 28

Resultado del Índice TX90p para RCP 4.5 y RCP 8.5

RCP 4.5	RCP 8.5
Tx90 M0008-Puyo 4.5	Tx90 M0008-Puyo 8.5
	
Tx90 M0127-Píllaro 4.5	Tx90 M0127-Píllaro 8.5
	
Tx90 M0128-Pedro Fermín 4.5	Tx90 M0128-Pedro Fermín 8.5
	

RCP 4.5	RCP 8.5
Tx90 M0258-Querochaca 4.5	Tx90 M0258-Querochaca 8.5
	

Nota: A la izquierda se encuentra los resultados para el índice TX90p en RCP 4.5 y a la derecha en RCP 8.5

Fuente: La Investigación.

Discusión: la Figura 28, indica el resultado del índice TX90p o denominado porcentaje de días cuando la temperatura máxima es superior al percentil 90th, para este índice en las cuatro estaciones en los dos escenarios 4.5 y 8.5 se observa una significancia estadística alta con valor de (p-value=0) siendo un indicador de que cada vez existen mayor cantidad de días cálidos. Para la estación M0008-Puyo la pendiente nos indica que 0.516 $\frac{\%}{año}$ es decir que cada 10 años el 5.16% o 188.34 de días al año superan este percentil en el escenario 4.5, para el escenario 8.5 la pendiente nos indica que 0.76 $\frac{\%}{año}$ es decir que cada 10 años el 7.6 % o 277.4 días.

En la estación M0127-Píllaro para el escenario 4.5 el valor de la pendiente nos indica un crecimiento de 0.492 $\frac{\%}{año}$ es decir que el 4.92% cada 10 años o 179.58 días al año y para el escenario 8.5 tiene una pendiente de 0.705 $\frac{\%}{año}$ o 257.33 días al año en el que la temperatura supera el percentil 90.

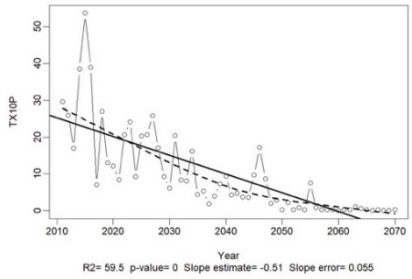
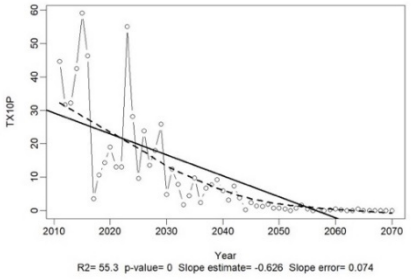
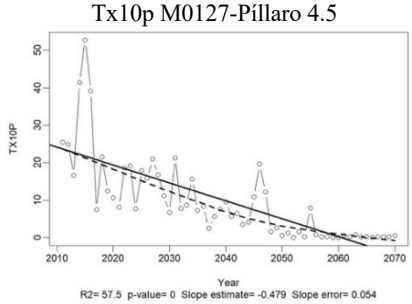
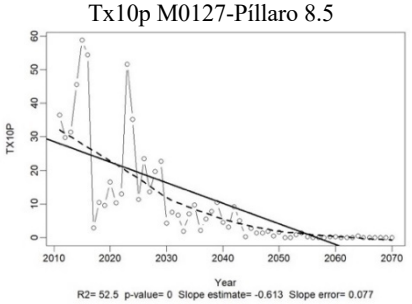
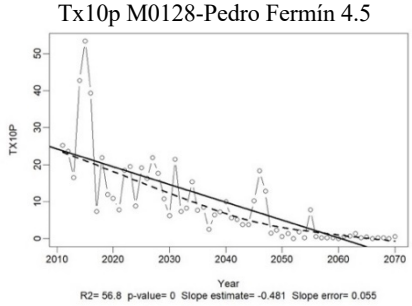
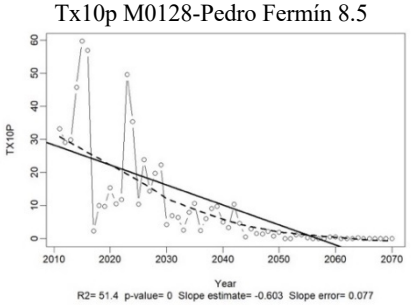
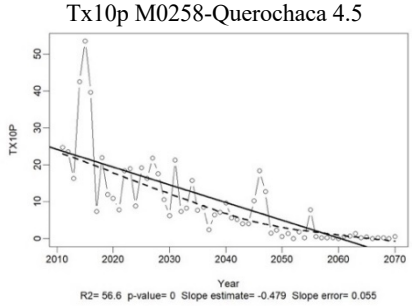
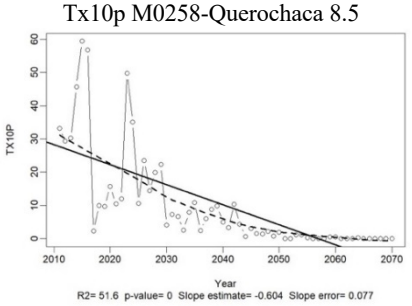
Para la estación M0128-Pedro Fermín para el escenario 4.5 el valor de la pendiente es de 0.486 $\frac{\%}{año}$ indicando un crecimiento de 4.86 $\frac{\%}{10\ años}$ o 177.39 días al año y para el escenario 8.5 de 0.706 $\frac{\%}{año}$ o 257.69 días al año en el que la temperatura supera el percentil 90.

En la estación M0258-Querochaca en el escenario 4.5 el valor de la pendiente tiende a ser creciente de 0.485 $\frac{\%}{año}$ o 4.85$\frac{\%}{10\ años}$ es decir 177.02 días al año en el que se superan el percentil 90 y para el escenario 8.5 de 0.706 $\frac{\%}{año}$ o 257.69 días al año.

4.5.1.4. Tx10p (Porcentaje de días cuando TX<10th percentil [%/año])

Figura 29

Resultado del Índice TX10p para RCP 4.5 y RCP 8.5

RCP 4.5	RCP 8.5
Tx10p M0008-Puyo 4.5 	Tx10p M0008-Puyo 8.5 
Tx10p M0127-Píllaro 4.5 	Tx10p M0127-Píllaro 8.5 
Tx10p M0128-Pedro Fermín 4.5 	Tx10p M0128-Pedro Fermín 8.5 
Tx10p M0258-Querochaca 4.5 	Tx10p M0258-Querochaca 8.5 

Nota: A la izquierda se encuentra los resultados para el índice Tx10p en RCP 4.5 y a la derecha en RCP 8.5
Fuente: La Investigación.

Discusión: En la Figura 29, indica el resultado Tx10p también llamado porcentaje de días cuando la temperatura es inferior al percentil 10 para las cuatro estaciones en los dos escenarios tiene un valor de p-value=0 con una significancia estadística alta siendo un indicador de que el evento climático va a suceder.

Para la estación M0008-Puyo en el escenario 4.5 el valor de la pendiente es negativo indicando que es decreciente con un valor de -0.51 $\frac{\%}{año}$ mientras que en la misma estación en el escenario 8.5 la pendiente decreciente es aún más pronunciada con un valor de -0.626 $\frac{\%}{año}$.

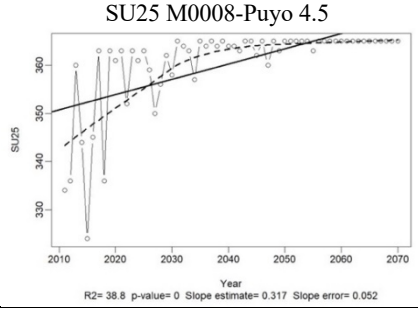
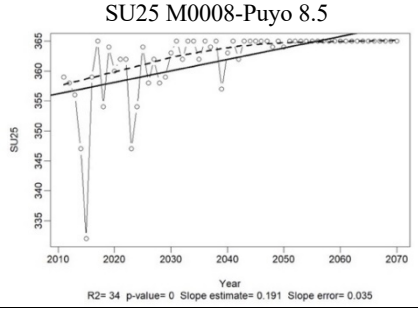
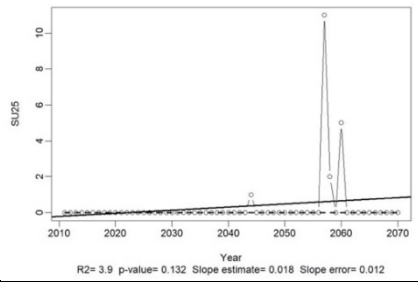
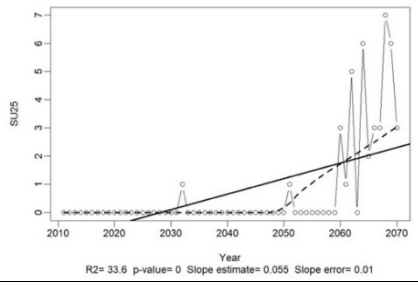
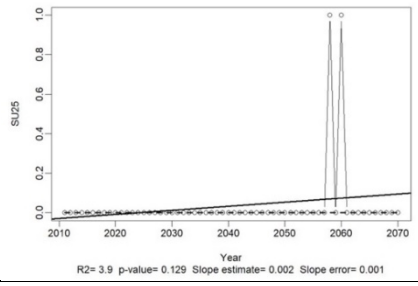
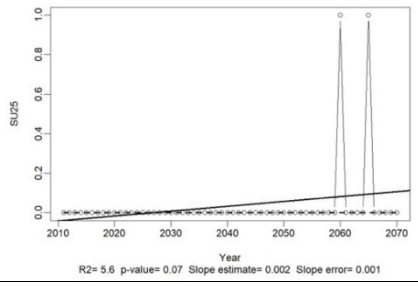
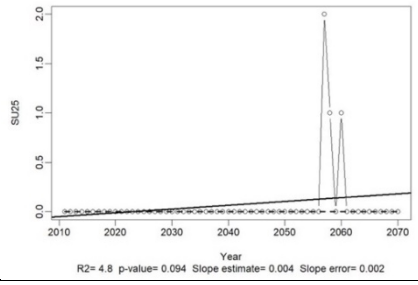
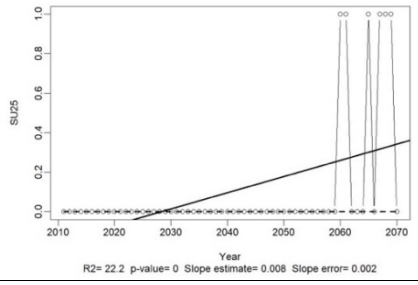
En la estación M0127-Píllaro y M0258-Querochaca para el escenario 4.5 el valor de la pendiente es el mismo con tendencia decreciente de -0.479 $\frac{\%}{año}$, al igual, para el escenario 8.5 de la estación M0127-Píllaro el valor de la pendiente es de -0.613 $\frac{\%}{año}$.

En la estación M0128-Pedro Fermín en el escenario 4.5 el valor de la pendiente es de -0.481 $\frac{\%}{año}$ y para el escenario 8.5 la pendiente nos indica un decrecimiento en los días al año que superan el percentil 10 con un valor de -0.603 $\frac{\%}{año}$, del mismo modo en la estación M0258-Querochaca en el escenario 8.5 el valor de la pendiente es muy similar al anterior -0.604 $\frac{\%}{año}$. En todas las estaciones en los dos escenarios el valor decreciente de la pendiente es un indicador de que hay una disminución de los días al año en el que se superan el percentil 10.

4.5.1.5. SU25 (Días Tropicales Tx>25◦ [día])

Figura 30

Resultado del Índice SU25 para RCP 4.5 y RCP 8.5

RCP 4.5	RCP 8.5
SU25 M0008-Puyo 4.5	SU25 M0008-Puyo 8.5
	
SU25 M0127-Píllaro 4.5	SU25 M0127-Píllaro 8.5
	
SU25 M0128-Pedro Fermín 4.5	SU25 M0128-Pedro Fermín 8.5
	
SU25 M0258-Querochaca 4.5	SU25 M0258-Querochaca 8.5
	

Nota: A la izquierda se encuentra los resultados para el índice SU25 en RCP 4.5 y a la derecha en RCP 8.5

Fuente: La Investigación.

Discusión: La Figura 30, nos indica el resultado del índice SU25 o Días tropicales en el que la temperatura máxima es mayor a los 25◦C, en la estación M0008-Puyo en el escenario 4.5 podemos observar que el número de días en el que la temperatura es superada pasa de 344

días al año a 365 días al año a partir del 2040, del mismo modo en este año para el escenario 8.5 el número de días en el que la temperatura fue superada es de 356 a 365 días.

Para la estación M0127-Píllaro el número de días en el que la temperatura es superada pasa de 0 a 1 días hasta el año 2070 en el escenario 4.5 y para el escenario 8.5 es de 0 días en el 2011 a 3 días al año 2070.

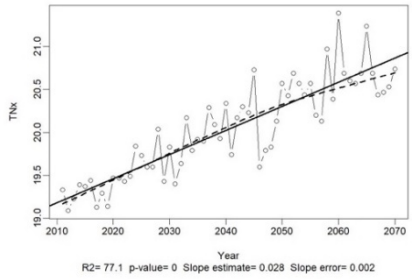
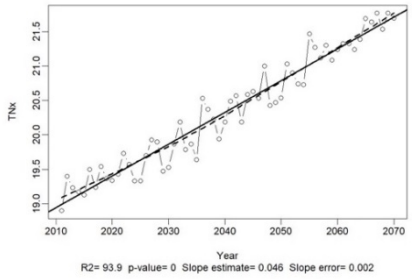
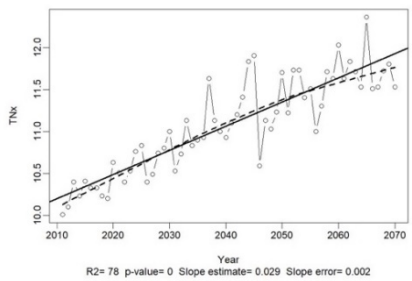
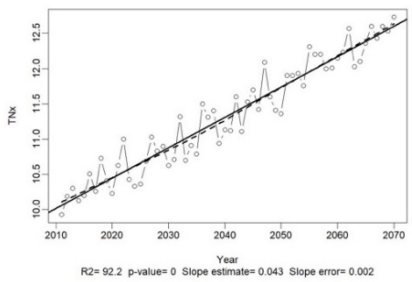
En la estación M0128-Pedro Fermín el incremento de la temperatura que sobrepasa los 25◦C es mínimo con un valor de 0.1 dios al año 2070 en el escenario 4.5 y 8.5. Para M0258-Querochaca en un poco más notable el cambio entre los dos escenarios, para el RCP 4.5 tiene un aumento de 0 a 0.2 días y para el RCP 8.5 de 0 a 0.38 días en los que la temperatura de 25 ◦C al año 2070.

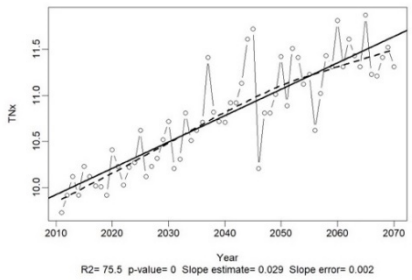
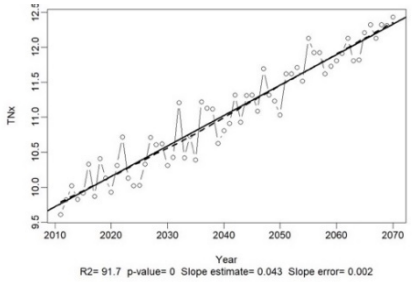
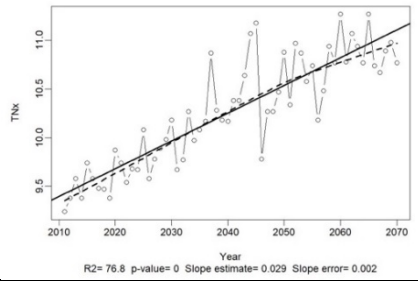
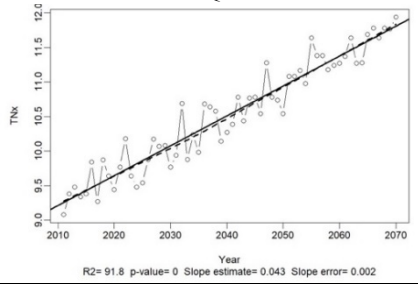
4.5.2 Índices de temperatura mínima

4.5.2.1. TNx (Valor mensual máximo de temperatura mínima diaria [°C])

Figura 31

Resultado del Índice TNx para RCP 4.5 y RCP 8.5

RCP 4.5	RCP 8.5
TNx M0008-Puyo 4.5	TNx M0008-Puyo 8.5
	
TNx M0127-Píllaro 4.5	TNx M0127-Píllaro 8.5
	

RCP 4.5	RCP 8.5
TNx M0128-Pedro Fermín 4.5 	TNx M0128-Pedro Fermín 8.5 
TNx M0258-Querochaca 4.5 	TNx M0258-Querochaca 4.5 

Nota: A la izquierda se encuentra los resultados para el índice TNx en RCP 4.5 y a la derecha en RCP 8.5

Fuente: La Investigación.

Discusión: En la Figura 31, indica el resultado del TNx también llamado valor mensual máximo de temperatura mínima diaria, para las estaciones M0258-Puyo, M0127-Píllaro, M0128-Pedro Fermín, M0258-Querochaca el valor de p-value=0 indica una significancia estadística alta teniendo una probabilidad de que el evento climático ocurra al 100%.

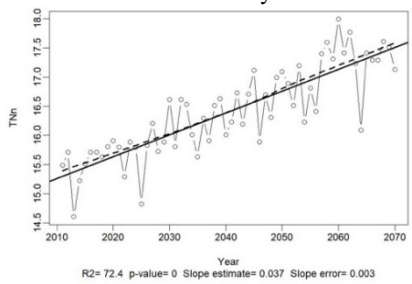
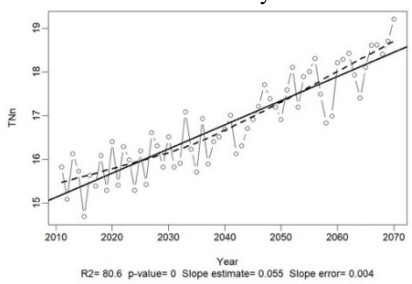
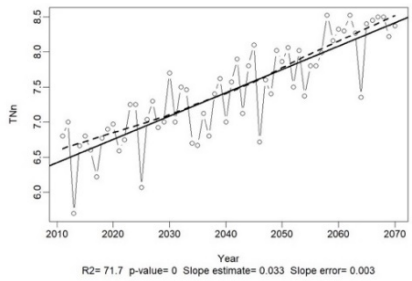
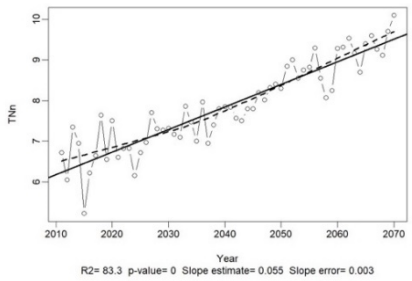
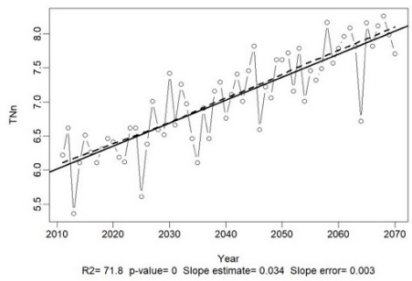
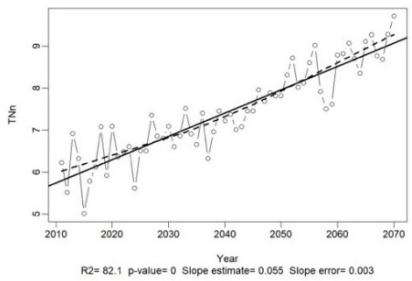
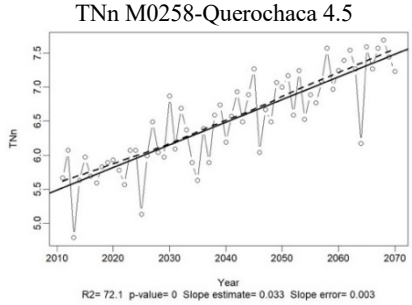
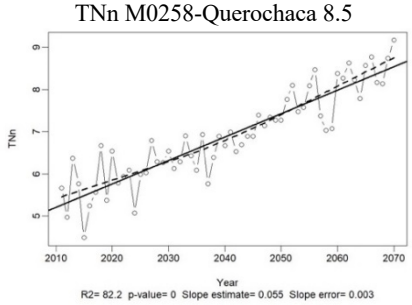
En la estación M0258-Puyo para el escenario 4.5 la pendiente tiene un valor de 0.028 $\frac{°C}{año}$ incrementando 1.7 °C desde el año 2011 hasta el año 2070 mientras que para el escenario 8.5 el valor de la pendiente es de 0.046 $\frac{°C}{año}$ y hasta el año 2070 el incremento en la temperatura es de 2.9 C. Para las estaciones M0127-Píllaro, M0128-Pedro Fermín y M0258-Querochaca el valor de la pendiente es de 0.029$\frac{°C}{año}$ en los escenarios 4.5 con un indicador de aumento de temperatura hasta el año 2070 de 1.8 °C para M0127-Píllaro y 2 °C en la estación de M0128-Pedro Fermín y M0258-Querochaca. En el escenario 8.5 para las tres estaciones de la región andina el valor de la pendiente es la misma 0.043 $\frac{°C}{año}$ y con un incremento en la temperatura al

año 2070 de 2.8 °C en la estación M0127-Píllaro y Pedro Fermín, una posible explicación a la similitud en los dos escenarios en las temperaturas mínimas por el efecto de isla de calor urbana.

4.5.2.2. TNn (Valor mensual mínimo de temperatura mínima diaria. [◦C])

Figura 32

Resultado del Índice TNn para RCP 4.5 y RCP 8.5

RCP 4.5	RCP 8.5
TNn M0008-Puyo 4.5	TNn M0008-Puyo 8.5
	
TNn M0127-Píllaro 4.5	TNn M0127-Píllaro 8.5
	
TNn M0128-Pedro Fermín 4.5	TNn M0128-Pedro Fermín 8.5
	
TNn M0258-Querochaca 4.5	TNn M0258-Querochaca 8.5
	

Nota: A la izquierda se encuentra los resultados para el índice TNn en RCP 4.5 y a la derecha en RCP 8.5

Fuente: La Investigación.

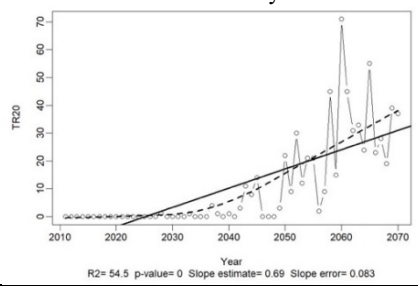
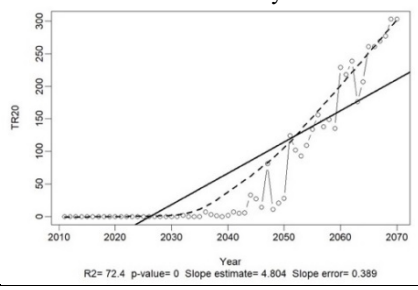
Discusión: En la Figura 32, indica el resultado de TNn para las cuatro estaciones o el valor mensual mínimo de temperatura mínima, la significancia estadística alta para las cuatro estaciones en los dos escenarios es (p-value= 0), en M0008-Puyo para el escenario 4.5 tiene un crecimiento de 0.037 $\frac{°C}{año}$ empezando en 15.2 °C en al año 2011 hasta 17.6 °C en el año 2070. También para las estaciones M0127-Píllaro y M0128-Querochaca tienen el mismo valor en la pendiente de 0.033 $\frac{°C}{año}$ y para M0128-Pedro Fermín el valor de la pendiente es de 0.034 $\frac{°C}{año}$ dando un aumento de la temperatura al año 2070 de 2,1°C para M0127-Píllaro y 2.2°C en las estaciones M0128- Pedro Fermín y M0258-Querochaca.

Sobre los escenarios 8.5 en la estación M0008-Puyo, M0127-Píllaro, M0128-Pedro Fermín y M0258-Querochaca el valor de la pendiente es 0.055 $\frac{°C}{año}$ para las cuatro estaciones, con un aumento al año 2070 de 3.6 °C en las estaciones de M0008-Puyo y M0258.Querochaca, mientras que para M0127-Píllaro y M0128-Pedro Fermín el cambio esperado al año 2070 es de 3.5 °C.

4.5.2.3. TR20 (Noches tropicales: número de días en un año en que la temperatura mínima supero los 20 ºC [día])

Figura 33

Resultado del Índice TR20 para RCP 4.5 y RCP 8.5

RCP 4.5	RCP 8.5
TR20 M0008-Puyo 4.5	TR20 M0008-Puyo 8.5
	

Nota: A la izquierda se encuentra los resultados para el índice TR20 en RCP 4.5 y a la derecha en RCP 8.5

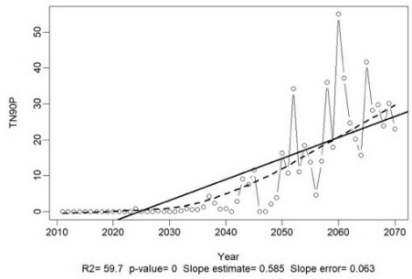
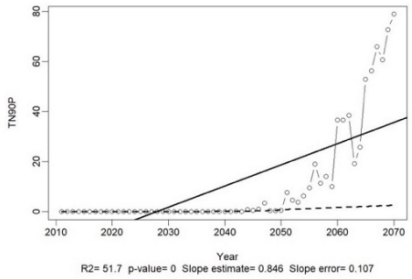
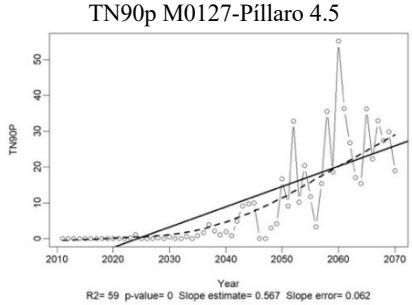
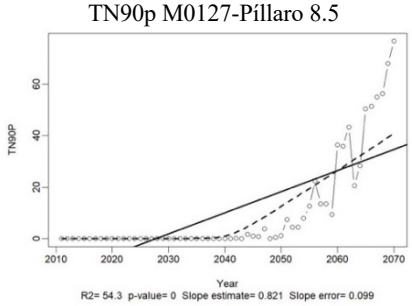
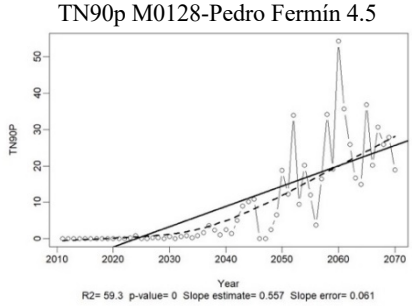
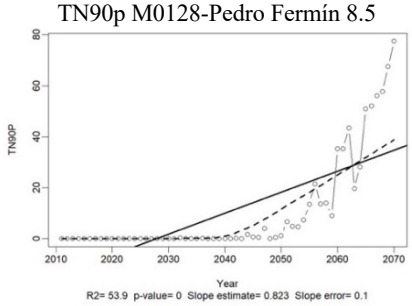
Fuente: La Investigación.

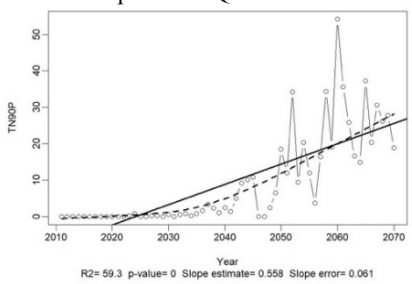
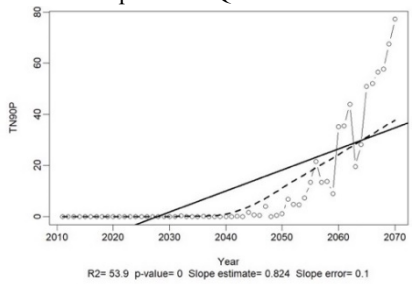
Discusión: En la Figura 33, muestra el número de días en un año en el que la temperatura mínima es mayor los 20 ºC, para la estación M0008-Puyo en el escenario 4.5 al año 2070 registra hasta 38 días en los que se supera la temperatura mencionada. En el escenario 8.5 al año 2011 registra 0 días en los que la temperatura mínima supera los 20 ºC sin embargo en este escenario al año 2070 registra hasta 300 días en los que se superó los 20 ºC

4.5.2.4. TN90p (Noches cálidas: días cuando la temperatura mínima pasa el percentil 90 [%])

Figura 34

Resultado del Índice TN90p para RCP 4.5 y RCP 8.5

RCP 4.5	RCP 8.5
TN90p M0008-Puyo 4.5 	TN90p M0008-Puyo 8.5 
TN90p M0127-Píllaro 4.5 	TN90p M0127-Píllaro 8.5 
TN90p M0128-Pedro Fermín 4.5 	TN90p M0128-Pedro Fermín 8.5 

RCP 4.5	RCP 8.5
TN90p M0258-Querochaca 4.5	TN90p M0258-Querochaca 8.5
	

Nota: A la izquierda se encuentra los resultados para el índice TN90p en RCP 4.5 y a la derecha en RCP 8.5

Fuente: La Investigación.

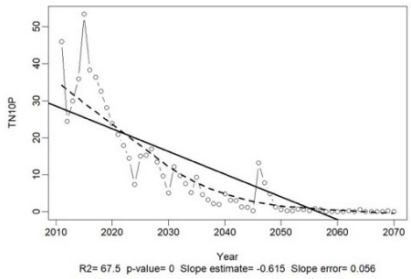
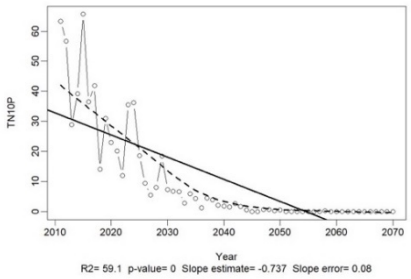
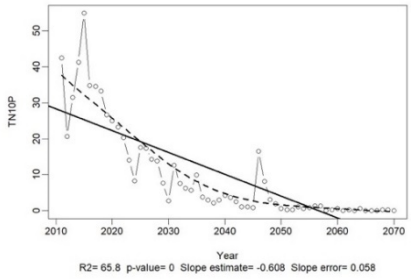
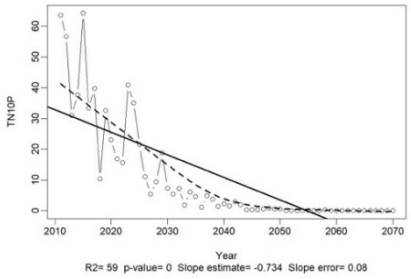
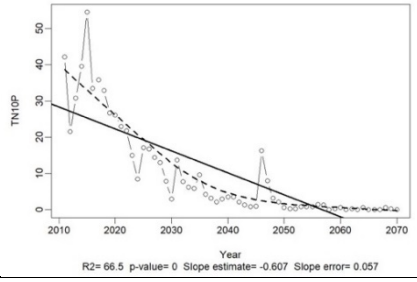
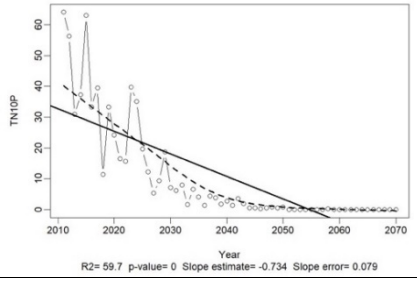
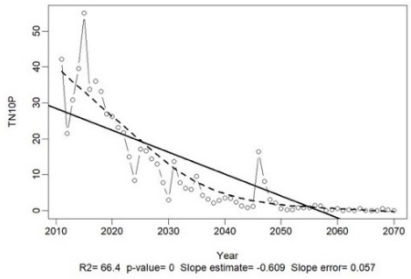
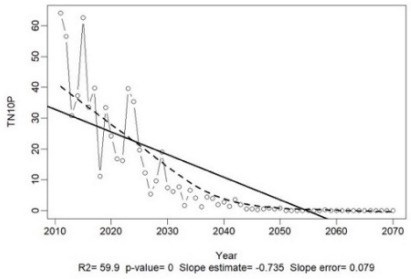
Discusión: En la Figura 34, indica el porcentaje de días cuando la temperatura mínima para el percentil 90, para las cuatro estaciones en los escenarios 4.5 y 8.5 la significancia estadística es alta (p-value=0). La estación M0008-Puyo en el escenario 4.5 tiene un incremento de 0 a 30 días al año 2070 en el que la temperatura supera el percentil 90th, en el escenario 8.5 el número de días en los que la temperatura rebasa el percentil 90th es solo 5 días al año 2070.

Para la estación M0127-Píllaro el incremento es de 0 días en el año 2011 a 29 días en el año 2070 para el escenario 4.5 y para el escenario 8.5 el número de días en el cual se superó el percentil 90th es de 40 días en el año 2070. En la estación M0128-Pedro Fermín y M01258-Querochaca la variación de días para el escenario 4.5 al año 2070 es de 0 días en el año 2011 a 28 días al año 2070, en el escenario 8.5 el incremento numérico es igual para las dos estaciones de 0 días a 38 días en el año 2070, en los que la temperatura mínima supero el percentil 90th.

4.5.2.5. TN10p (Noches frías: Días cuando la temperatura mínima es menor al percentil 10 [%])

Figura 35

Resultado del Índice TN10p para RCP 4.5 y RCP 8.5

RCP 4.5	RCP 8.5
TN10p M0008-Puyo 4.5 	TN10p M0008-Puyo 8.5 
TN10p M0127-Píllaro 4.5 	TN10p M0127-Píllaro 8.5 
TN10p M0128-Pedro Fermín 4.5 	TN10p M0128-Pedro Fermín 8.5 
TN10p M0258-Querochaca 4.5 	TN10p M0258-Querochaca 8.5 

Nota: A la izquierda se encuentra los resultados para el índice TN10p en RCP 4.5 y a la derecha en RCP 8.5

Fuente: La Investigación.

Discusión: En la Figura 35, indica el resultado del índice TN10p o días en los que la temperatura mínima es inferior al percentil 10, para la estación M0008-Puyo en el escenario

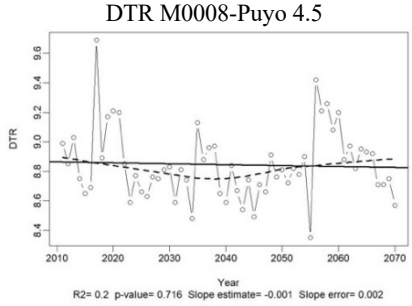
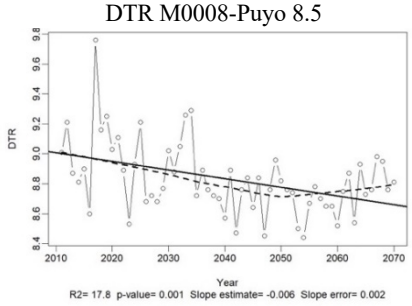
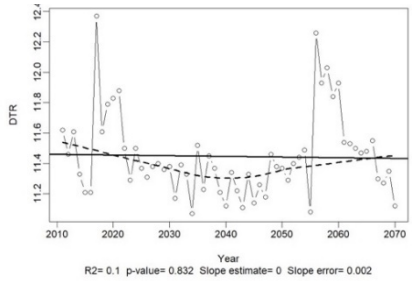
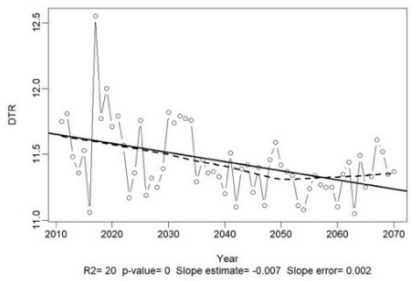
4.5 es interesante notar que en el año 2011 indica 35 días y a partir del año 2050 el número de días que es menor al percentil 10 ya no se manifiestan, para el escenario 8.5 ocurre el mismo fenómeno a partir del año 2040. Para las estaciones M0127-Píllaro, M0128-Pedro Fermín y M0258-Querochaca en el escenario 4.5 se manifiesta los mismos resultados las tres estaciones en el año 2011 tienen 39 días en los cuales la temperatura mínima es menor al percentil 10 sobre la disminución de los días a partir del año 2050 ya no se manifiestan.

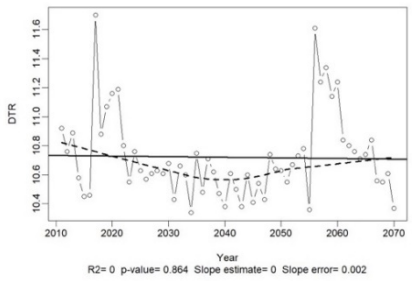
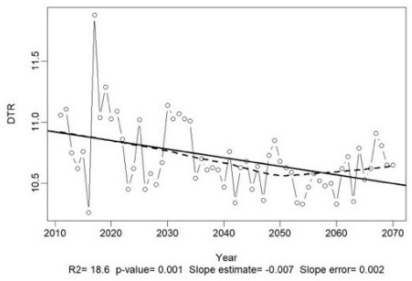
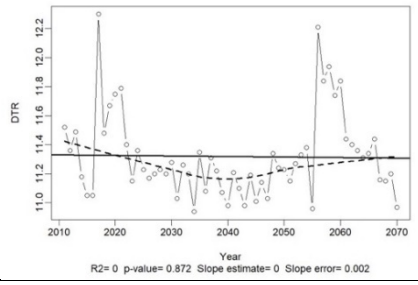
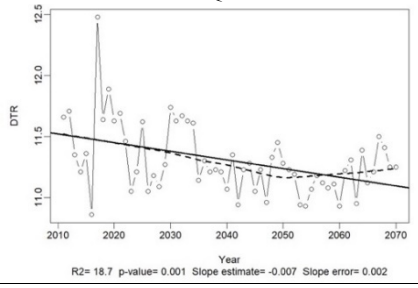
En el escenario 8.5 para las tres estaciones de la región andina tienen los mismos resultados en lo que se refiere a días que son menores al percentil 10, en el año 2011 empiezan en 39 días y a partir del año 2045 hasta el año 2070 el número de días menores al percentil 10 es 0 días. Para las cuatro estaciones las noches frías disminuyen de manera significativa en los dos escenarios al tener (p-value=0).

4.5.2.6. DTR (Rango Diurno de temperatura Tx-Tn [◦C/año])

Figura 36

Resultado del Índice DTR para RCP 4.5 y RCP 8.5

RCP 4.5	RCP 8.5
DTR M0008-Puyo 4.5	DTR M0008-Puyo 8.5
	
DTR M0127-Píllaro 4.5	DTR M0127-Píllaro 8.5
	

RCP 4.5	RCP 8.5
DTR M0128-Pedro Fermín 4.5	DTR M0128-Pedro Fermín 8.5
	
DTR M0258-Querochaca 4.5	DTR M0258-Querochaca 8.5
	

Nota: A la izquierda se encuentra los resultados para el índice DTR en RCP 4.5 y a la derecha en RCP 8.5

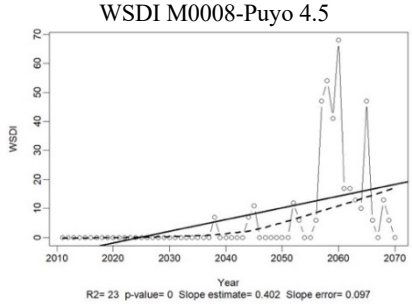
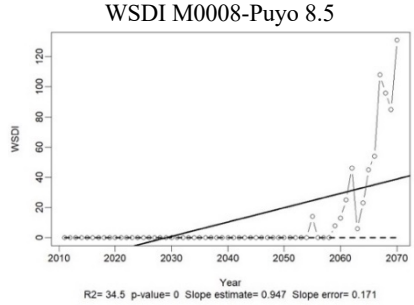
Fuente: La Investigación.

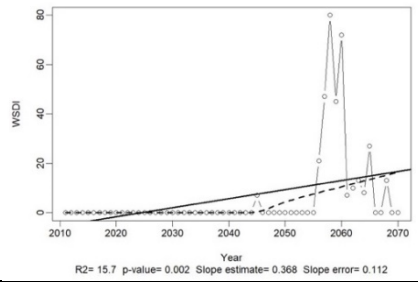
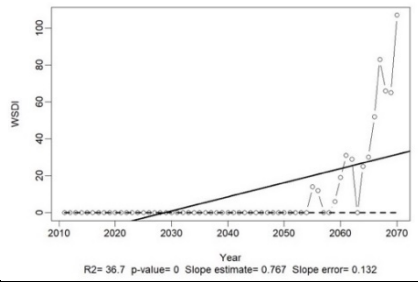
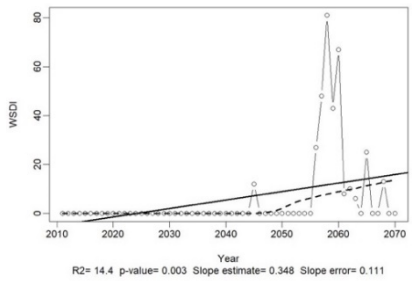
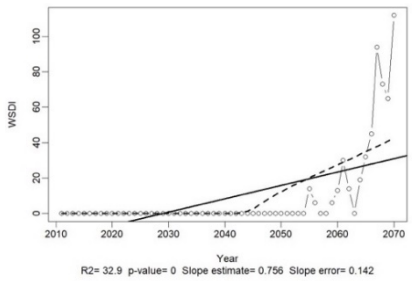
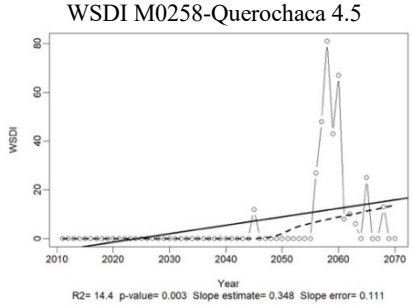
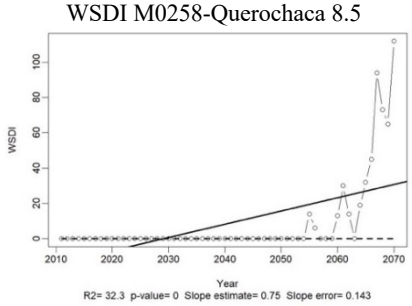
Discusión: En la Figura 36, indica el resultado del índice DTR o diferencia media mensual entre Temperatura máxima y Temperatura mínima para las cuatro estaciones en el escenario 4.5 no muestra significancia estadística alta es decir que la diferencia entre la temperatura no cambia, en el escenario 8.5 la significancia estadística para las cuatro estaciones es alta (p-value=0.001). Siendo un indicador de que la las temperaturas mínimas se están incrementando más rápido que las temperaturas máximas.

4.5.2.7. WSDI (Indicador de la duración de periodos calientes [día/año])

Figura 37

Resultado del Índice WSDI para RCP 4.5 y RCP 8.5

RCP 4.5	RCP 8.5
WSDI M0008-Puyo 4.5	WSDI M0008-Puyo 8.5
	

RCP 4.5	RCP 8.5
WSDI M0127-Píllaro 4.5	WSDI M0127-Píllaro 8.5
	
WSDI M0128-Pedro Fermín 4.5	WSDI M0128-Pedro Fermín 8.5
	
WSDI M0258-Querochaca 4.5	WSDI M0258-Querochaca 8.5
	

Nota: A la izquierda se encuentra los resultados para el índice WSDI en RCP 4.5 y a la derecha en RCP 8.5

Fuente: La Investigación.

Discusión: En la Figura 37, indica el resultado del índice WSDI o indicador de la duración de olas de calor para las cuatro estaciones en el escenario 4.5 tiene una significancia estadística alta con un valor de (p-value=0.003) al igual que en el escenario 8.5 el valor en (p-value=0). En la estación M0008-Puyo en el escenario 4.5 el valor de la pendiente es de 0.402 $\frac{dia}{año}$ tiene un valor creciente con un pico de hasta 70 días con duración de periodos calientes en el año 2060 mientras que en el escenario 8.5 el pico es de 130 días en el año 2070 con una pendiente de 0.947 $\frac{dia}{año}$.

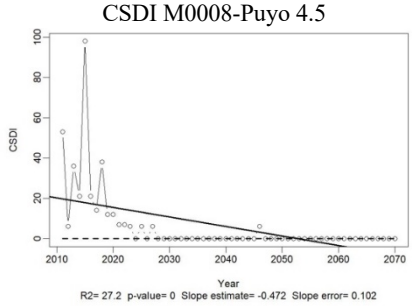
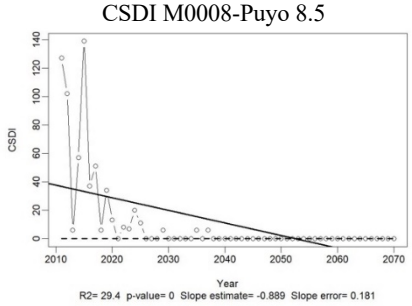
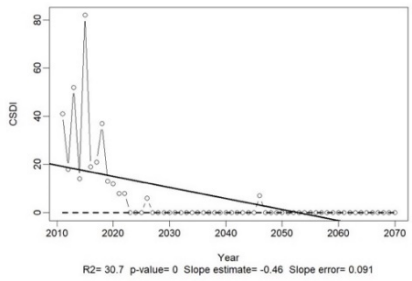
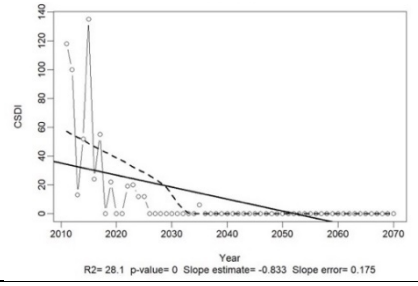
Para la estación M0127-Píllaro en el escenario 4.5 la pendiente tiene un valor de 0.368 $\frac{dia}{año}$ indicando el aumento en los periodos de calor de 0 días en el año 2011 hasta 20 días en el año 2070, para RCP 8.5 al ser un escenario pesimista registra hasta 110 días de duración de periodos calientes en el año 2070. En las estaciones M0128-Pedro Fermín y M0258-Querochaca para el escenario 4.5 tiene un pico de hasta 80 días de duración en el año 2058 y un valor creciente en la pendiente de 0.348 $\frac{dia}{año}$.

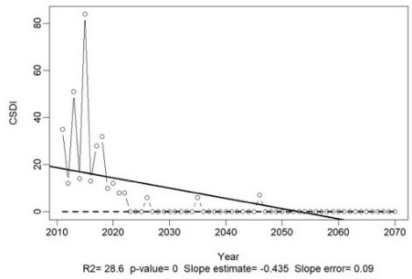
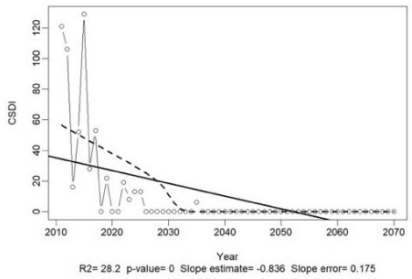
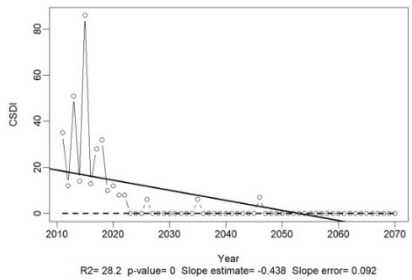
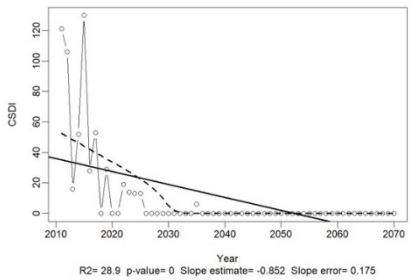
En el escenario 8.5 de las estaciones M0128-Pedro Fermín y M0258-Querochaca tienen valores iguales en la pendiente de 0.75 $\frac{dia}{año}$ y picos de duración de periodos de calor de120 días al año en el 2070.

4.5.2.8. CSDI (Indicador de la duración de periodos fríos [día/año])

Figura 38

Resultado del Índice CSDI para RCP 4.5 y RCP 8.5

RCP 4.5	RCP 8.5
CSDI M0008-Puyo 4.5	CSDI M0008-Puyo 8.5
	
CSDI M0127-Píllaro 4.5	CSDI M0127-Píllaro 8.5
	

RCP 4.5	RCP 8.5
CSDI M0128-Pedro Fermín 4.5 	CSDI M0128-Pedro Fermín 8.5 
CSDI M0258-Querochaca 4.5 	CSDI M0258-Querochaca 8.5 

Nota: A la izquierda se encuentra los resultados para el índice CSDI en RCP 4.5 y a la derecha en RCP 8.5

Fuente: La Investigación.

Discusión: En la Figura 38, muestra el resultado del índice de CSDI siendo el indicador de duración de periodos fríos, para las cuatro estaciones en el escenario 4.5 y 8.5 tiene una significancia estadística alta con un valor de (p-value=0).

En la estación M0008-Puyo en el escenario 4.5 el valor de la pendiente es de -0.472 $\frac{dia}{año}$ tiene un valor decreciente con un pico de hasta 100 días con duración de periodos fríos en el año 2015 y cerca al año 2030 ya no existen días con periodos fríos. En el escenario 8.5 tiene una pendiente de -0.889 $\frac{dia}{año}$ con un pico de 140 días en el año 2015 y desapareciendo los periodos fríos a partir de año 2038.

Para la estación M0127-Píllaro en el escenario 4.5 la pendiente tiene un valor de -0.46 $\frac{dia}{año}$ indicando la disminución en los periodos fríos con un máximo de 80 días en el año 2015 y dando fin a los periodos fríos a partir del año 2028, para RCP 8.5 al ser un escenario pesimista registra hasta 140 días de duración de periodos fríos en el año 2015 y reduciendo los días fríos a partir del año 2025 hasta llegar a cero.

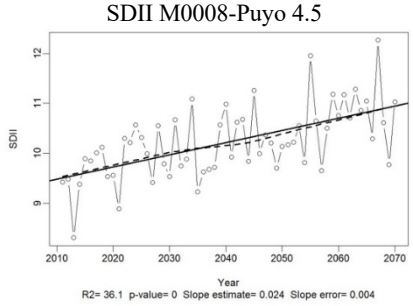
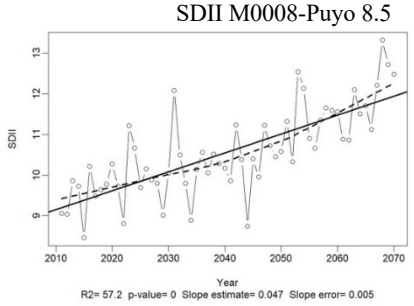
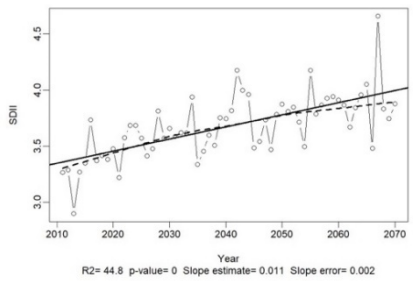
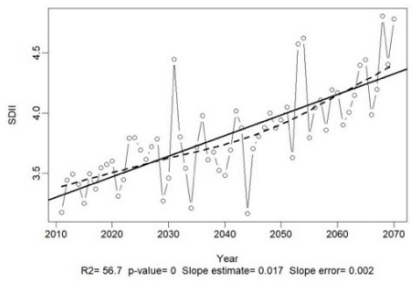
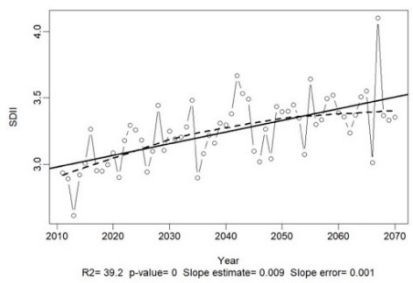
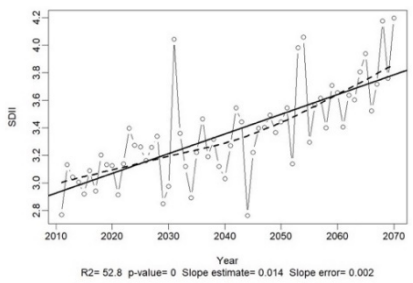
En las estaciones M0128-Pedro Fermín y M0258-Querochaca para el escenario 4.5 tiene un pico de hasta 70 días de duración de periodos fríos en el año 2015 y una disminución en los días fríos al año a partir del año 2030, para el escenario 8.5 de las estaciones M0128-Pedro Fermín y M0258-Querochaca tienen picos de duración de periodos fríos de130 días al año de periodos fríos en el 2015 y desapareciendo totalmente a partir del año 2035.

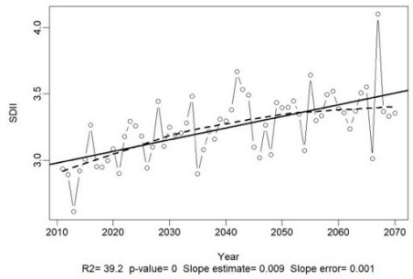
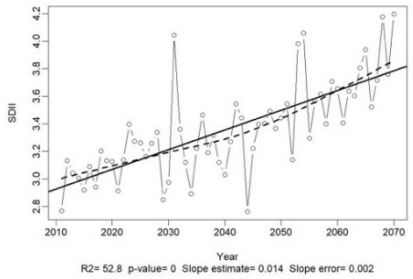
4.5.3. Índices de precipitación

4.5.3.1. SDII (Índice de intensidad diaria [mm/día/año])

Figura 39

Resultado del Índice SDII para RCP 4.5 y RCP 8.5

RCP 4.5	RCP 8.5
SDII M0008-Puyo 4.5 	SDII M0008-Puyo 8.5 
SDII M0127-Píllaro 4.5 	SDII M0127-Píllaro 4.5 
SDII M0128-Pedro Fermín 4.5 	SDII M0128-Pedro Fermín 4.5 

RCP 4.5	RCP 8.5
SDII M0258-Querochaca 4.5	SDII M0258-Querochaca 4.5
	

Nota: A la izquierda se encuentra los resultados para el índice SDII en RCP 4.5 y a la derecha en RCP 8.5

Fuente: La Investigación.

Discusión: En la Figura 39, representa el resultado del índice SDII siendo este el que indica la cantidad de lluvia precipitada por día. En las cuatro estacione la significancia estadística es alta con valor de (p-value=0) en los dos escenarios.

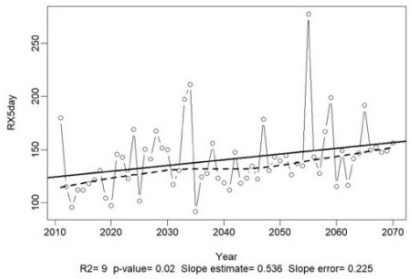
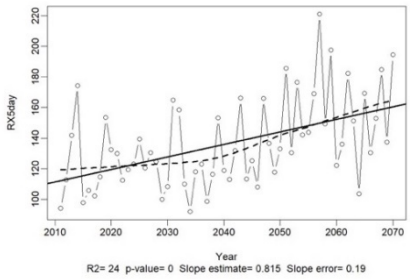
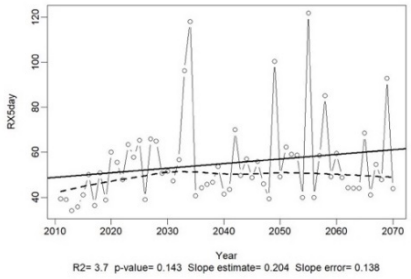
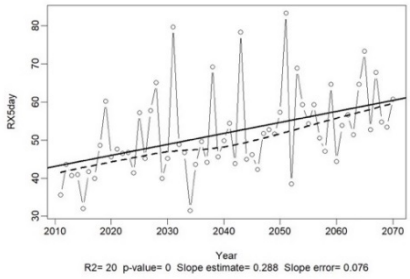
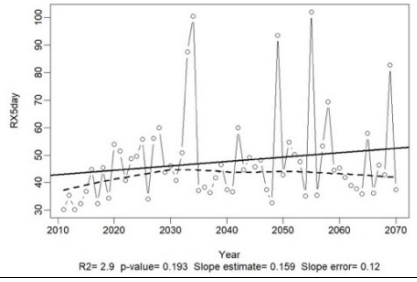
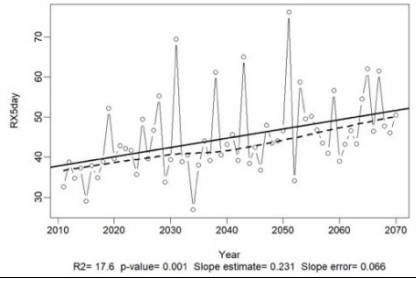
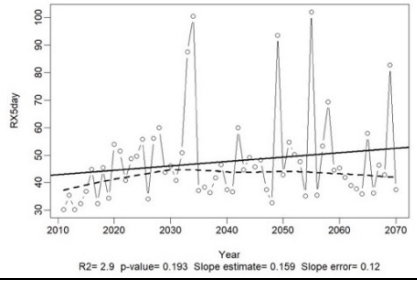
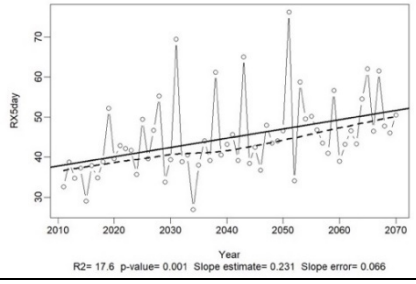
En la estación M0008-Puyo en el escenario 4.5 el crecimiento de la pendiente es de 0.024 mm/día/año siendo en el escenario 8.5 donde se observa la mayor cantidad de lluvia para la estación con un valor de 0.047 mm/día/año. Para el a estación M0127-Píllaro el valor de la pendiente para el escenario 4.5 es de 0.011 mm/día/año y para el escenario 8.5 de 0.017 mm/día/año.

El crecimiento de la precipitación para las estaciones M0128-Pedro Fermín y M0258-Querochaca es igual, para el escenario 4.5 el valor de la pendiente es de 0.009 mm/día/año y para el escenario 8.5 el valor de la pendiente es de 0.014 mm/día/año. Siendo la estación M0008-Puyo la que tiene un mayor incremento en la precipitación en los dos escenarios a comparación de las estaciones de la región andina. En todos los casos de SDII indica que la cantidad de lluvia por evento aumenta favoreciendo los eventos extremos

4.5.3.2. RX5Day (Cantidad Máxima de precipitación en 5 días consecutivos [mm/año])

Figura 40

Resultado del Índice RX5Day para RCP 4.5 y RCP 8.5

RCP 4.5	RCP 8.5
RX5Day M0008-Puyo 4.5 	RX5Day M0008-Puyo 8.5 
RX5Day M0127-Píllaro 4.5 	RX5Day M0127-Píllaro 8.5 
RX5Day M0128-Pedro Fermín 4.5 	RX5Day M0128-Pedro Fermín 8.5 
RX5Day M0258-Querochaca 4.5 	RX5Day M0258-Querochaca 8.5 

Nota: A la izquierda se encuentra los resultados para el índice RX5Day en RCP 4.5 y a la derecha en RCP 8.5

Fuente: La Investigación.

Discusión: En la Figura 40, muestra el resultado del índice RX5Day siendo este el que indica la cantidad máxima de precipitación en 5 días consecutivos también resultando ser un

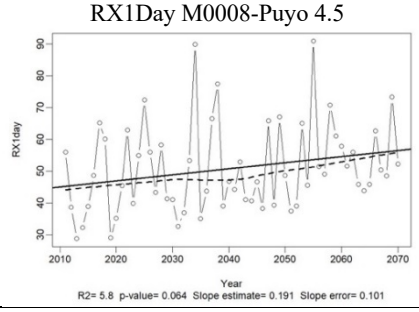
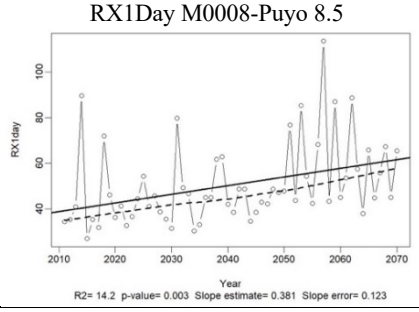
indicador de lluvias intensas con consecuencias de deslizamientos o saturación del sistema de alcantarillado, en la estación M0008-Puyo para el escenario 4.5 la significancia estadística es alta con un valor de (p-value=0.02) y la pendiente de 0.536 $\frac{mm}{año}$ mientras que para el escenario 8.5 tiene un valor de (p-value =0) siendo altamente significativo estadísticamente con una pendiente de 0.815 $\frac{mm}{año}$ mas inclinada con un incremento de 160 $\frac{mm}{año}$ al año 2070. Para la estación M0127-Píllaro en el escenario 4.5 tiene un valor creciente en la pendiente de 0.204 $\frac{mm}{año}$ y picos de hasta 120 mm en cinco días consecutivos en el año 2035 y 2055.

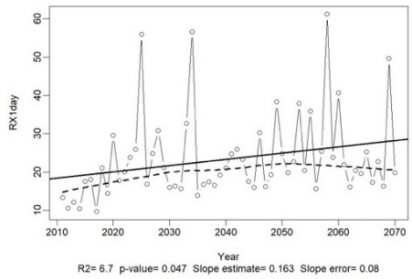
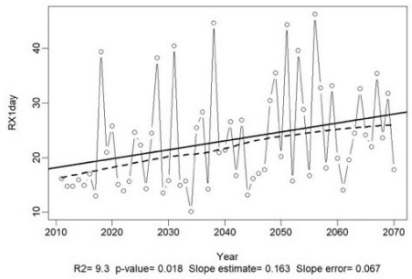
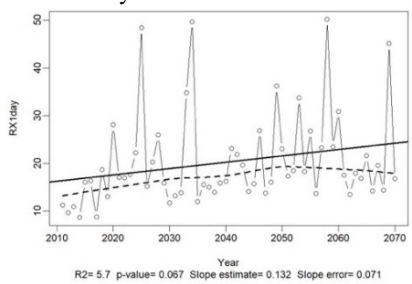
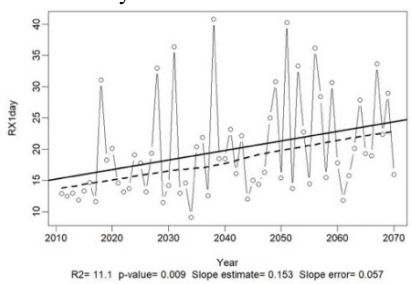
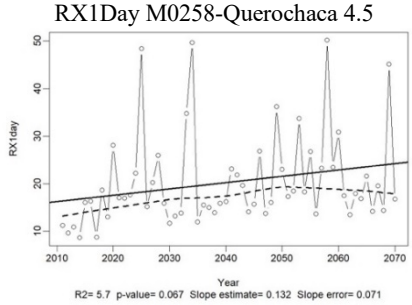
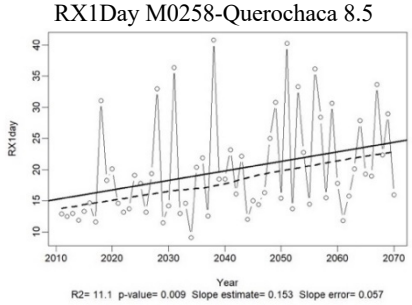
En el escenario 8.5 para la estación M0127-Píllaro tiene un valor creciente en la pendiente de 0.288 y un pico máximo de 80mm en precipitación en cinco días consecutivos en el año 2052. Para las estaciones M0128-Pedro Fermín y M0258-Querochaca el valor de la pendiente en el escenario 4.5 es el mismo con un valor de 0.159 $\frac{mm}{año}$ y un valor de hasta 100 mm de precipitación continua durante cinco días en el año 2055, mientras en el escenario 8.5 en las dos estaciones mantienen valores iguales en la pendiente de 0.231 $\frac{mm}{año}$ y valores máximos de 80 mm de precipitación continua durante cinco días en el año 2050.

4.5.3.3. RX1Day (Cantidad Máxima de precipitación en un día [mm/día])

Figura 41

Resultado del índice RX1Day para RCP 4.5 y RCP 8.5

RCP 4.5	RCP 8.5
RX1Day M0008-Puyo 4.5	RX1Day M0008-Puyo 8.5
	

RCP 4.5	RCP 8.5
RX1Day M0127-Píllaro 4.5	RX1Day M0127-Píllaro 8.5
	
RX1Day M0128-Pedro Fermín 4.5	RX1Day M0128-Pedro Fermín 8.5
	
RX1Day M0258-Querochaca 4.5	RX1Day M0258-Querochaca 8.5
	

Nota: A la izquierda se encuentra los resultados para el índice RX1Day en RCP 4.5 y a la derecha en RCP 8.5

Fuente: La Investigación.

Discusión: En la Figura 41, muestra el resultado del índice RX1Day siendo un indicador de la cantidad máxima de precipitación para un día o que tan probable es que los eventos sean intensos, en la estación M0008-Puyo en el escenario 4.5 tiene una pendiente creciente de 0.191 $\frac{mm}{año}$ y un pico de hasta 90 mm de precipitación en el año 2055, mientras que en el escenario 8.5 de la misma estación la significancia estadística es alta con un valor de (p-value=0.003), tiene una pendiente de 0.381 $\frac{mm}{año}$ y un pico de 120 mm en el año 2058. Para la estación M0127-Píllaro el valor de la pendiente es de 0.047 $\frac{mm}{año}$ y un pico de hasta 60 mm de precipitación en el año 2058, mientras que en el escenario 8.5 de la estación M0127-Píllaro tiene una significancia

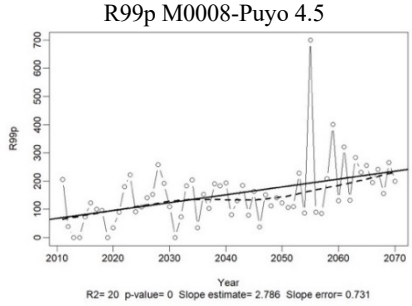
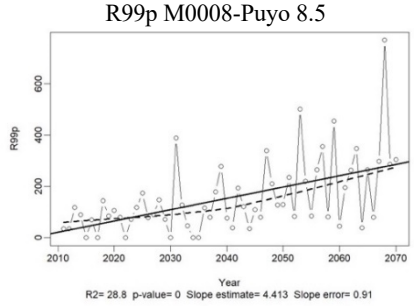
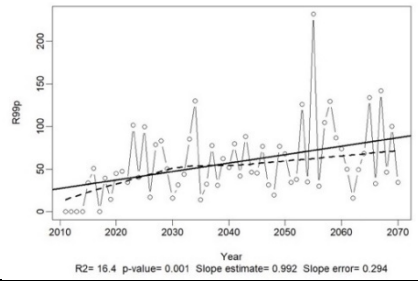
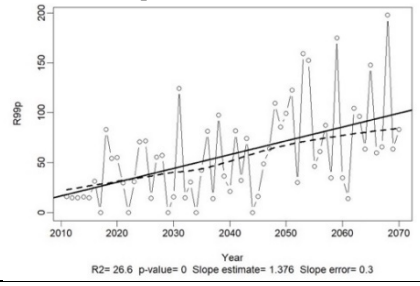
estadística media alta de (p-value=0.018) y un pico máximo de 45 mm de precipitación en el año 2055.

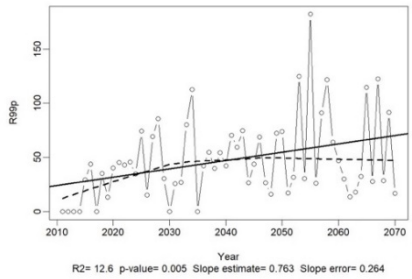
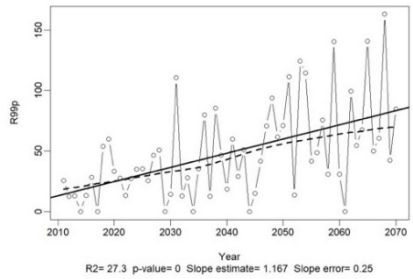
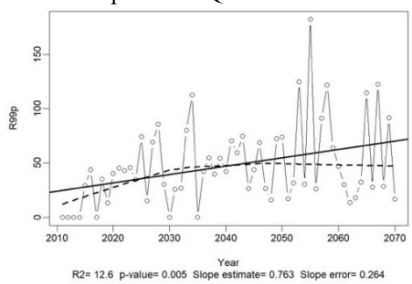
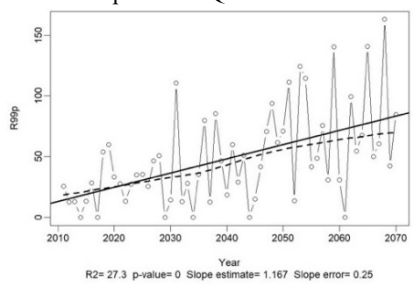
Para las estaciones M0128-Pedro Fermín y M0258-Querochaca el valor de la pendiente en el escenario 4.5 es el mismo con un valor de 0.132 $\frac{mm}{año}$ y un valor de hasta 50 mm de precipitación en el año 2060, mientras en el escenario 8.5 en las dos estaciones mantienen valores iguales en la pendiente de 0.253 $\frac{mm}{año}$ y valores máximos de 40 mm de precipitación en el año 2038.

4.5.3.4. R99p (Días extremadamente lluviosos (precipitación sobre el percentil 99) [mm/año])

Figura 42

Resultado del Índice R99p para RCP 4.5 y RCP 8.5

RCP 4.5	RCP 8.5
R99p M0008-Puyo 4.5	R99p M0008-Puyo 8.5
	
R99p M0127-Píllaro 4.5	R99p M0127-Píllaro 8.5
	

RCP 4.5	RCP 8.5
R99p M0128-Pedro Fermín 4.5	R99p M0128-Pedro Fermín 8.5
	
R99p M0258-Querochaca 4.5	R99p M0258-Querochaca 8.5
	

Nota: A la izquierda se encuentra los resultados para el índice R99p en RCP 4.5 y a la derecha en RCP 8.5

Fuente: La Investigación.

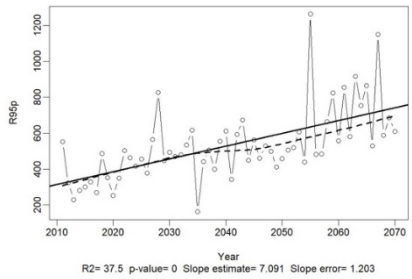
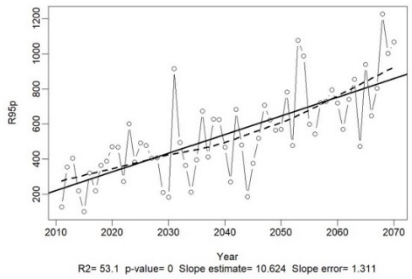
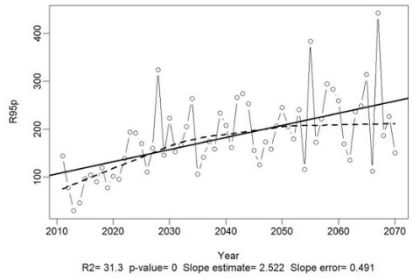
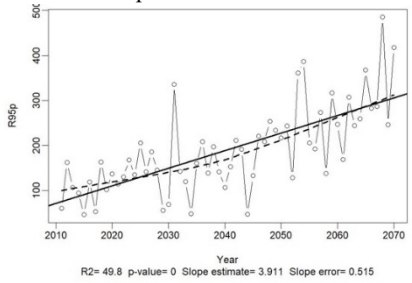
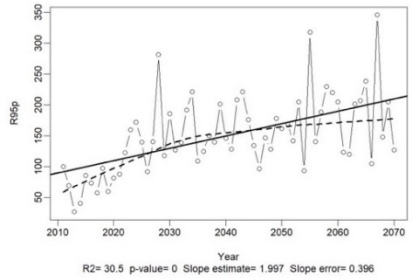
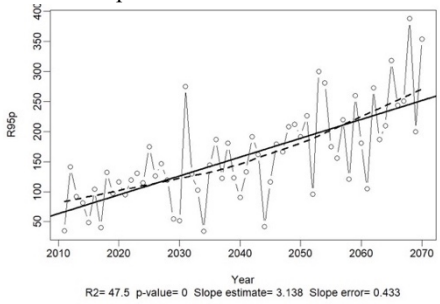
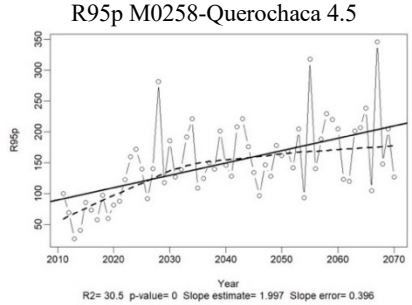
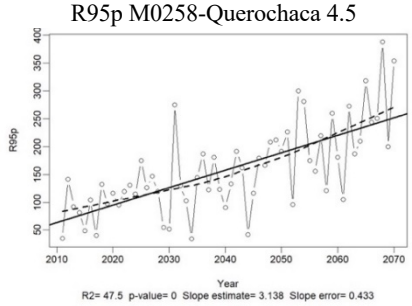
Discusión: En la Figura 42, muestra el resultado del índice R99p siendo el indicador de la precipitación que supera el percentil 99 o eventos extremos, para la estación M0008-Puyo la significancia estadística es alta con un (p-value=0) y una pendiente de 2.786 mm/año mientras que en el escenario 8.5 el valor de la pendiente es de 4.413 mm/año siendo un indicador de que los eventos extremos que superan el percentil 99 van aumentando al tener una significancia estadística alta (p-value=0). En la estación M0127-Píllaro en el escenario 4.5 la pendiente nos indica un incremento de 2.522 mm/año y un (p-value=0.001) de significancia alta estadísticamente, para el escenario 8.5 el valor creciente de la pendiente llega hasta 1.367 mm/año al igual siendo altamente significativo estadísticamente.

Para las estaciones M0128-Pedro Fermín y M0258-Querochaca los datos de la pendiente en el escenario 4.5 son iguales con un valor de 0.763 mm/año mientras que en el escenario 8.5 en las dos estaciones tiene una pendiente creciente de 1.167 mm/año con esos valores se puede afirmar que existe un incremento en los eventos de precipitación que sobrepasan el percentil 99.

4.5.3.5. R95p (Días muy lluviosos (precipitación sobre el percentil 95) [mm/Día/año])

Figura 43

Resultado del Índice R95p para RCP 4.5 y RCP 8.5

RCP 4.5	RCP 8.5
R95p M0008-Puyo 4.5	R95p M0008-Puyo 8.5
	
R95p M0127-Píllaro 4.5	R95p M0127-Píllaro 4.5
	
R95p M0128-Pedro Fermín 4.5	R95p M0128-Pedro Fermín 4.5
	
R95p M0258-Querochaca 4.5	R95p M0258-Querochaca 4.5
	

Nota: A la izquierda se encuentra los resultados para el índice R95p en RCP 4.5 y a la derecha en RCP 8.5

Fuente: La Investigación.

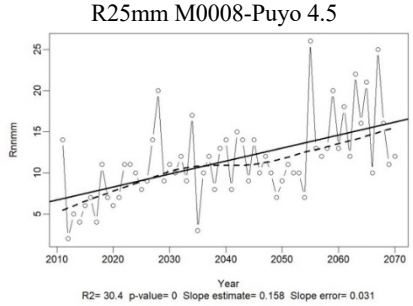
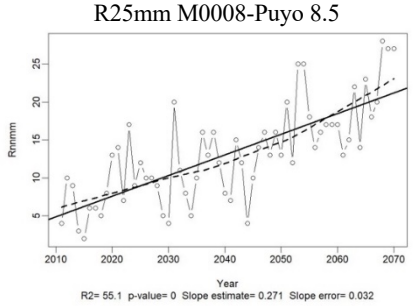
Discusión: En la Figura 43, muestra el resultado del índice R95p siendo el indicador de la precipitación que supera el percentil 95 o días muy lluviosos, para las cuatro estaciones en los dos escenarios 4.5 y 8.5 la significancia estadística es alta con un (p-value=0), en M0008-Puyo en el escenario 4.5 la pendiente es creciente con un valor de 7.091 mm/día/año y para el escenario 8.5 la pendiente al ser mayor con un valor de 10.624 mm/día/año. En la estación M0127-Píllaro en el escenario 4.5 la pendiente nos indica un incremento de 2.522 mm/día/año y para el escenario 8.5 el valor creciente de la pendiente llega hasta 3.911 mm/día/año.

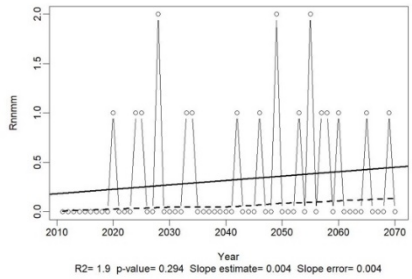
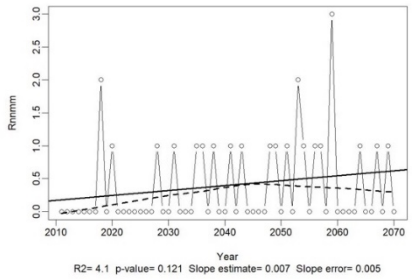
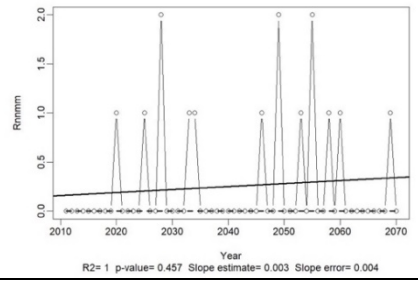
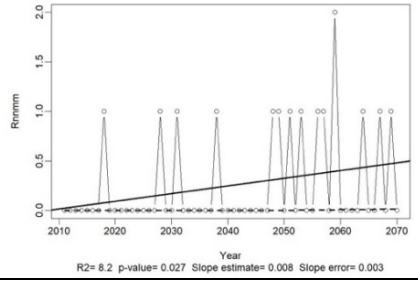
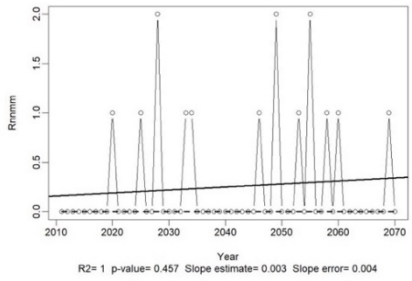
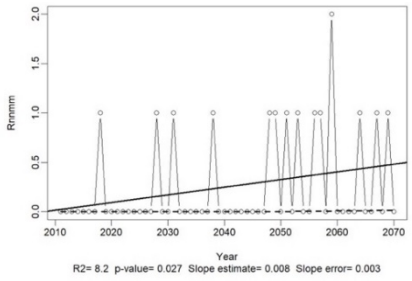
Para las estaciones M0128-Pedro Fermín y M0258-Querochaca los datos de la pendiente en el escenario 4.5 son iguales con un valor de 1.997 mm/día/año mientras que en el escenario 8.5 en las dos estaciones tiene una pendiente creciente de 3.138 mm/día/año con esos valores se puede afirmar que existe un incremento en los eventos de precipitación que sobrepasan el percentil 95 en las cuatro estaciones en los dos escenarios siendo mucho más notable en la estación de la amazonia.

4.5.3.6. R25mm (Días al año en los que la precipitación muy intensa supera los 25mm [días/año])

Figura 44

Resultado del Índice R25mm para RCP 4.5 y RCP 8.5

RCP 4.5	RCP 8.5
R25mm M0008-Puyo 4.5	R25mm M0008-Puyo 8.5
	

RCP 4.5	RCP 8.5
R25mm M0127-Píllaro 4.5	R25mm M0127-Píllaro 8.5
	
R25mm M0128-Pedro Fermín 4.5	R25mm M0128-Pedro Fermín 8.5
	
R25mm M0258-Querochaca 4.5	R25mm M0258-Querochaca 8.5
	

Nota: A la izquierda se encuentra los resultados para el índice R25mm en RCP 4.5 y a la derecha en RCP 8.5

Fuente: La Investigación.

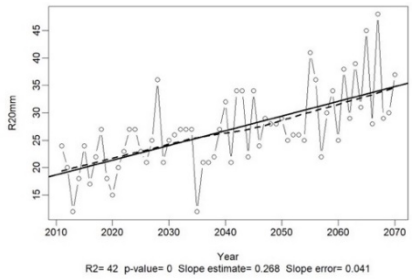
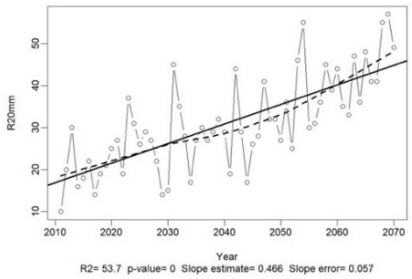
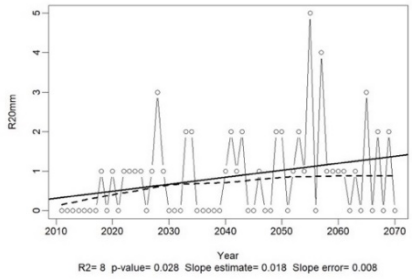
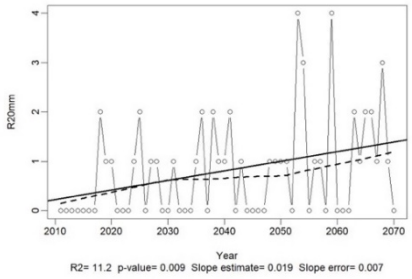
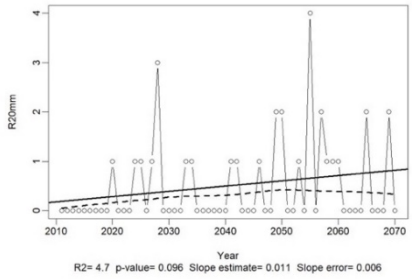
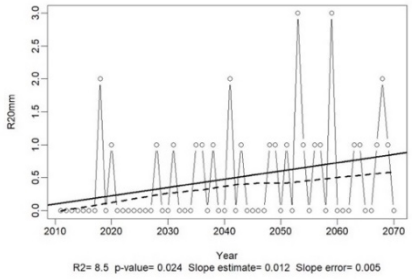
Discusión: En la Figura 44, muestra el resultado del índice R25mm siendo el indicador del número de días al año en el que la precipitación supera los 25mm, para la estación M0008-Puyo en el escenario 4.5 y 8.5 la significancia estadística es alta (p-value=0) teniendo una pendiente creciente de 0.158 $\frac{dias}{año}$ en el escenario 4.5 y hasta 25 días al año que supere los 25mm en el año 2055 y siendo más pronunciada en el escenario 8.5 con 0.271 $\frac{dias}{año}$ y 30 días al año 2070. En la estación M0127-Píllaro para el escenario 4.5 la significancia estadística es nula con (p-value=0.294), mientras que para el escenario 8.5 en la misma estación posee una pendiente de 0.007 $\frac{dias}{año}$ con una significancia estadística media de (p-value=0.121).

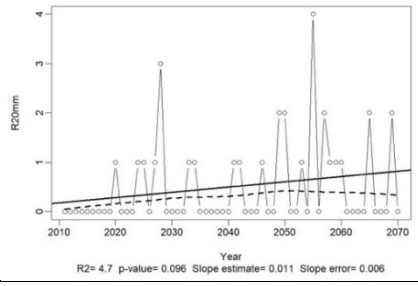
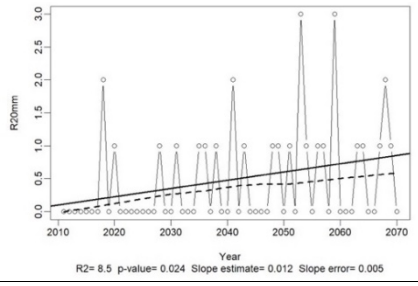
Para las estaciones M0128-Pedro Fermín y M0258-Querochaca los datos de la pendiente en el escenario 4.5 son iguales con un valor de 0.003 $\frac{dias}{año}$ con una significancia estadística nula de (p-value=0.457), en el escenario 8.5 en las dos estaciones tiene una pendiente creciente de 0.008 $\frac{dias}{año}$ con una significancia estadística alta de (p-value=0.027). En las estaciones de la región sierra se registra hasta 2 días al año que superan 25mm excepto en el escenario 8.5 de la estación M0127-Píllaro que registra 3 días que supera los 25mm.

4.5.3.7. R20mm (Días al año con precipitación muy intensa mayor a 20mm/día [días/año])

Figura 45

Resultado del Índice R20mm para RCP 4.5 y RCP 8.5

RCP 4.5	RCP 8.5
R20mm M0008-Puyo 4.5	R20mm M0008-Puyo 8.5
	
R20mm M0127-Píllaro 4.5	R20mm M0127-Píllaro 8.5
	
R20mm M0128-Pedro Fermín 4.5	R20mm M0128-Pedro Fermín 8.5
	

RCP 4.5	RCP 8.5
M0258-Querochaca 4.5	M0258-Querochaca 8.5
	

Nota: A la izquierda se encuentra los resultados para el índice R20mm en RCP 4.5 y a la derecha en RCP 8.5

Fuente: La Investigación.

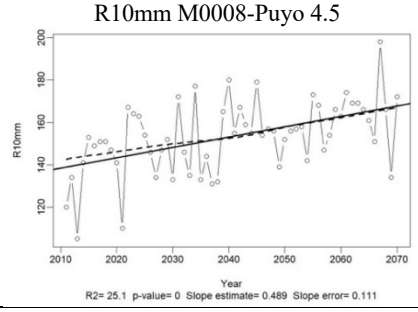
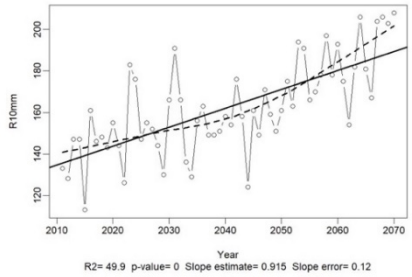
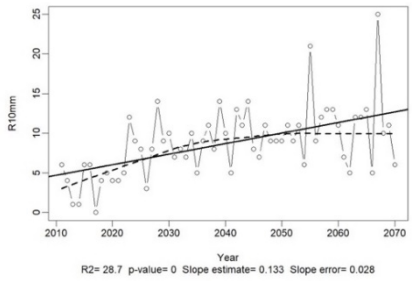
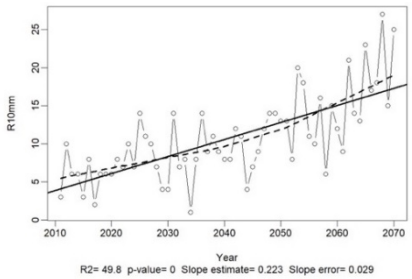
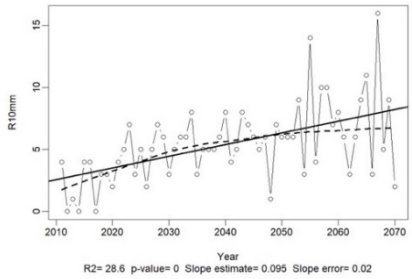
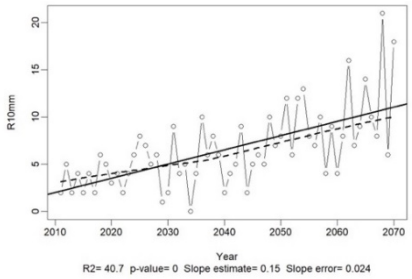
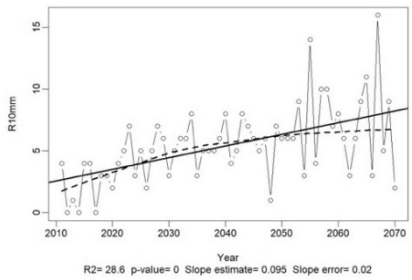
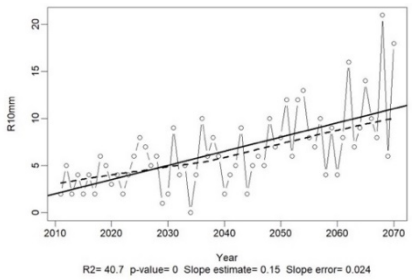
Discusión: En la Figura 45, muestra el resultado del índice R20mm definido por el número de días al año con precipitación intensa mayor a 20 mm, para la estación M0008-Puyo la significancia estadística es alta en los dos escenarios (p-value=0), para el escenario 4.5 la pendiente es creciente de 0.268 $\frac{dias}{año}$ y para el escenario 8.5 el valor de la pendiente es de 0.466 $\frac{mm}{año}$.

En la estación M0127-Píllaro tiene una tendencia creciente en la pendiente 0.018 $\frac{dias}{año}$ en el escenario 4.5 con una significancia media estadísticamente de (p-value= 0.028), mientras que para el escenario 8.5 la significancia estadística es alta (p-value=0.009). Para las estaciones M0128-Pedro Fermín y M0258-Querochaca los datos de la pendiente en el escenario 4.5 y 8.5 son iguales 0.011dias/año y 0.012 mm/año respectivamente, la significancia estadística para el escenario 4.5 (p-value=0.096) es alta y para el escenario 8.5 el valor creciente de la pendiente es de (p-value=0.012).

4.5.3.8. R10mm (Días al año con precipitación intensa mayor a 10mm/día [días/año])

Figura 46

Resultado del Índice R10mm para RCP 4.5 y RCP 8.5

RCP 4.5	RCP 8.5
R10mm M0008-Puyo 4.5	R10mm M0008-Puyo 8.5
	
R10mm M0127-Píllaro 4.5	R10mm M0127-Píllaro 8.5
	
R10mm M0128-Pedro Fermín 4.5	R10mm M0128-Pedro Fermín 8.5
	
R10mm M0258-Querochaca 4.5	R10mm M0258-Querochaca 8.5
	

Nota: A la izquierda se encuentra los resultados para el índice R10mm en RCP 4.5 y a la derecha en RCP 8.5

Fuente: La Investigación.

Discusión: En la Figura 46, muestra el resultado del índice R10mm definido por el número de días al año con precipitación intensa mayor a 10 mm, para las cuatro estaciones la

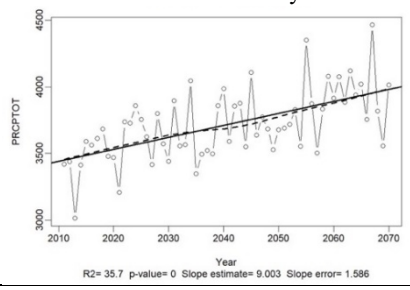
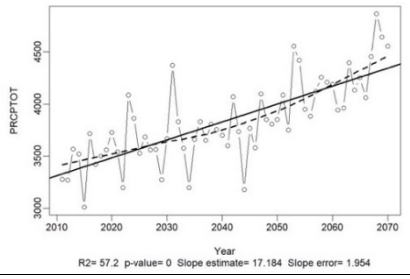
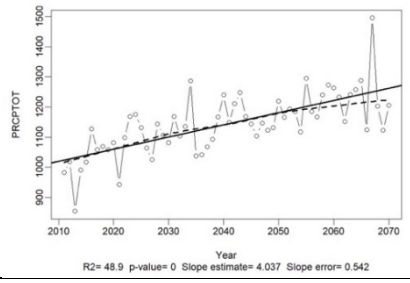
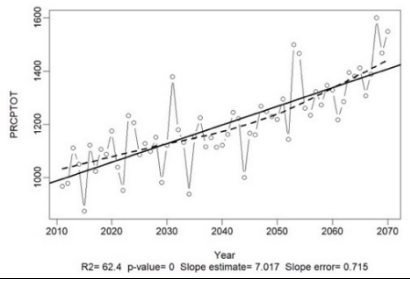
significancia estadística es alta (p-value=0) en los escenarios 4.5 y 8.5. En la estación M0008-Puyo en el escenario 4.5 el valor de la pendiente es creciente 0.489 $\frac{mm}{año}$ y para el escenario 8.5 el valor de la pendiente es de 0.915 $\frac{mm}{año}$.

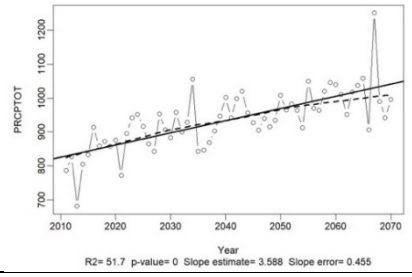
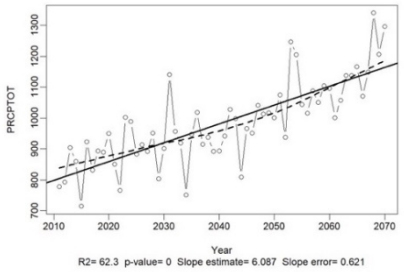
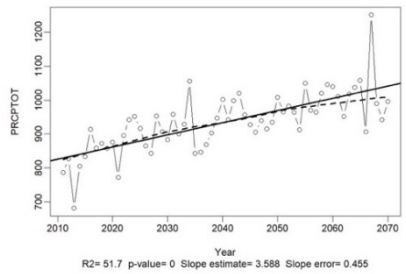
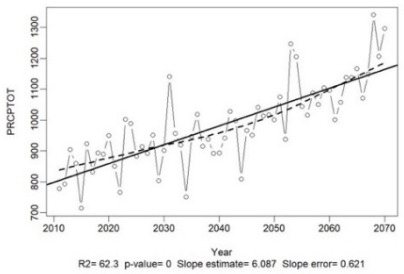
En la estación M0127-Píllaro tiene una tendencia creciente en la pendiente 0.133 $\frac{mm}{año}$ en el escenario 4.5 con hasta 13 días al año en los que la lluvia supera los 10mm al año 2070, mientras que en el escenario 8.5 el valor de la pendiente es de 0.223 $\frac{mm}{año}$ y hasta 17 días en el año 2070 en los que se superan los 10 mm en precipitación. Para las estaciones M0128-Pedro Fermín y M0258-Querochaca los datos de la pendiente en el escenario 4.5 y 8.5 son iguales 0.095 $\frac{mm}{año}$ y 0.15 $\frac{mm}{año}$ respectivamente.

4.5.3.9. PRCPTOT (Precipitación total anual en los días húmedos [mm/año])

Figura 47

Resultado del Índice PRCPTOT para RCP 4.5 y RCP 8.5

RCP 4.5	RCP 8.5
PRCPTOT M0008-Puyo 4.5 	PRCPTOT M0008-Puyo 8.5 
PRCPTOT M0127-Píllaro 4.5 	PRCPTOT M0127-Píllaro 8.5 

RCP 4.5	RCP 8.5
PRCPTOT M0128-Pedro Fermín 4.5	PRCPTOT M0128-Pedro Fermín 8.5
	
PRCPTOT M0258-Querochaca 4.5	PRCPTOT M0258-Querochaca 8.5
	

Nota: A la izquierda se encuentra los resultados para el índice PRCPTOT en RCP 4.5 y a la derecha en RCP 8.5

Fuente: La Investigación.

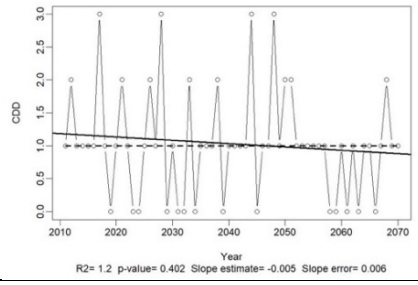
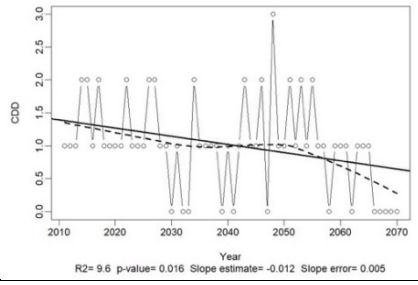
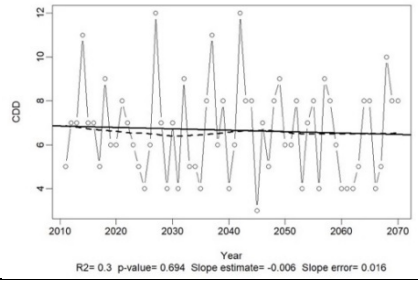
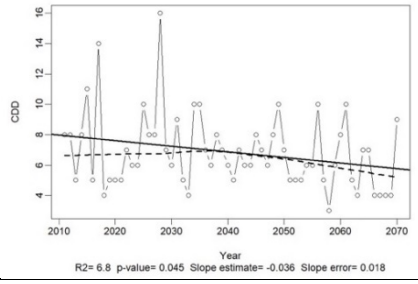
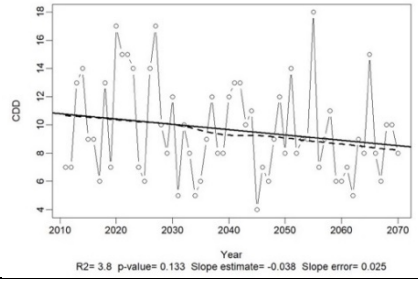
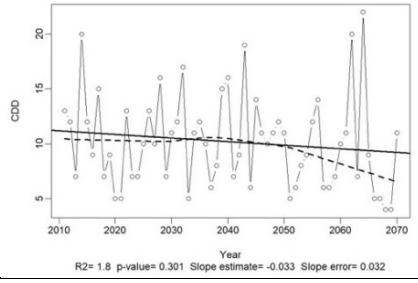
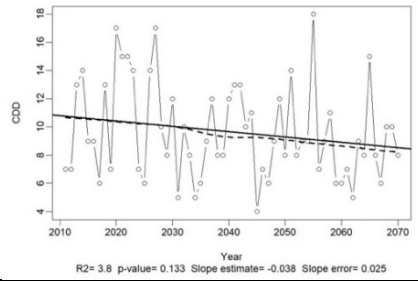
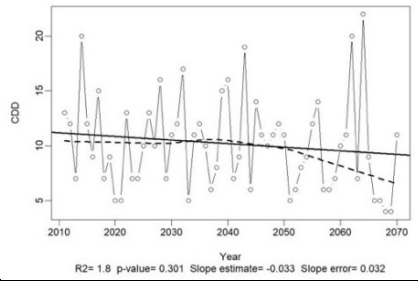
Discusión: En la Figura 47, indica el resultado del índice PRCPTOT definida por la precipitación total anual en los días húmedos, siendo altamente significativo con un valor de (p-value=0) en las cuatro estaciones para los escenarios 4.5 y 8.5. Para la estación M0008-Puyo en el escenario 4.5 tiene un valor creciente en la pendiente de 9.003 $\frac{mm}{año}$ mientras que para el escenario 8.5 la pendiente es igual creciente con un valor de 17.184 $\frac{mm}{año}$. En la estación M0127-Píllaro en el escenario 4.5 es claro un crecimiento con un valor de 4.037 $\frac{mm}{año}$ y en el escenario 8.5 se mantiene la tendencia creciente con un valor de 7.017 $\frac{mm}{año}$.

Para las estaciones M0128-Pedro Fermín y M0258-Querochaca en el escenario 4.5 tienen un valor igual en (p-value=0) siendo altamente significativo en ambos casos al igual que en la pendiente el valor es el mismo para las dos estaciones 3.588 $\frac{mm}{año}$, manteniendo una tendencia creciente en el escenario 8.5 para las dos estaciones el valor de la pendiente es de 6.087 $\frac{mm}{año}$ y una significancia estadística alta (p-value=0). Es notable el crecimiento en la precipitación en la estación M0008-Puyo en la región amazónica seguida de M0127-Píllaro.

4.5.3.10. CDD (Días secos consecutivos [día/año])

Figura 48

Resultado del índice CDD para RCP 4.5 y RCP 8.5.

RCP 4.5	RCP 8.5
CDD M0008-Puyo 4.5	CDD M0008-Puyo 8.5
	
CDD M0127-Píllaro 4.5	CDD M0127-Píllaro 8.5
	
CDD M0128-Pedro Fermín 4.5	CDD M0128-Pedro Fermín 8.5
	
CDD M0258-Querochaca 4.5	CDD M0258-Querochaca 8.5
	

Nota: A la izquierda se encuentra los resultados para el índice CDD en RCP 4.5 y a la derecha en RCP 8.5

Fuente: La Investigación.

Discusión: En la Figura 48, indica el resultado el índice CDD tratando de los días secos consecutivos al año en la estación M0008-Puyo para el escenario 4.5 tiene un valor no

significativo estadísticamente (p-value=0.403) y una pendiente de -0.0005 $\frac{dia}{año}$. Para el escenario 8.5 la significancia estadística es alta (p-value=0.016) el valor de la pendiente de -0.012 $\frac{dia}{año}$ con un pico máximo de 3 días al año consecutivos cercanos al 2050.

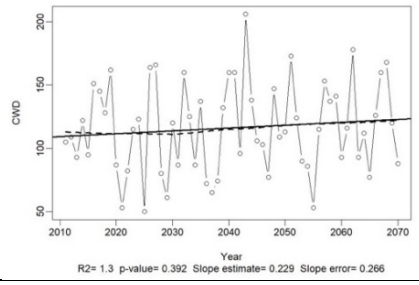
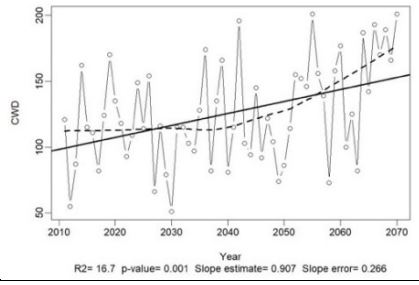
En la estación M0127-Píllaro para el escenario 4.5 presenta un valor no significativo estadísticamente (p-value=0.694), sin embargo, en el escenario 8.5 registra un pico de hasta 16 días secos consecutivos en el año 2028 con una pendiente decreciente de -0.036 $\frac{dia}{año}$ y una significancia estadística de 0.045 $\frac{dia}{año}$.

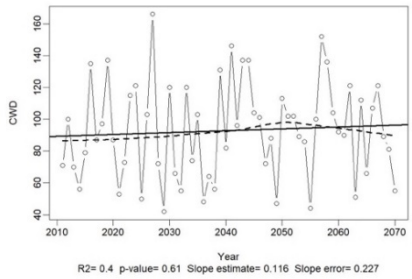
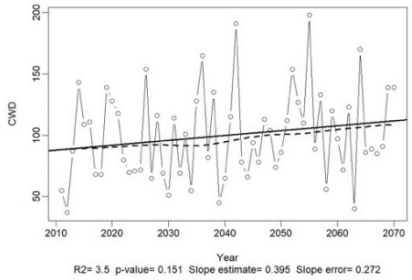
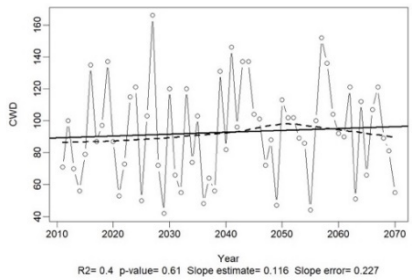
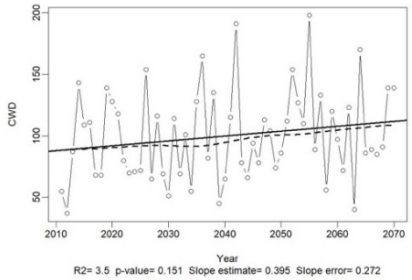
En las estaciones M0128-Pedro Fermín y M0258-Querochaca en el escenario 4.5 poseen el mismo valor (p-value=0.133) siendo medianamente significativos con un valor en la pendiente de -0.038 $\frac{dia}{año}$ en las dos estaciones el pico máximo de días secos consecutivos es de 18 días en el año 2055. Para el escenario 8.5 en las dos estaciones el valor de (p-value=0.301) es igual siendo no significativo para ninguno de las dos estaciones.

4.5.3.11. CWD (Días húmedos consecutivos [día/año])

Figura 49

Resultado del Índice CWD para RCP 4.5 y RCP 8.5

RCP 4.5	RCP 8.5
CWD M0127-Píllaro 4.5	CWD M0127-Píllaro 8.5
	

RCP 4.5	RCP 8.5
CWD M0128-Pedro Fermín 4.5 	CWD M0128-Pedro Fermín 8.5 
CWD M0258-Querochaca 4.5 	CWD M0258-Querochaca 8.5 

Nota: A la izquierda se encuentra los resultados para el índice CWD en RCP 4.5 y a la derecha en RCP 8.5

Fuente: La Investigación.

Discusión: En la Figura 49, indica el resultado del índice CWD definido como el número de días húmedos consecutivos al año, para la estación M0008-Puyo existe una inconsistencia en los resultados por posible redacción en la fórmula para los datos de la estación. Para la estación M0127-Píllaro en el escenario 4.5 tiene un valor de (p-value=0.392) siendo no significativo presentando un pico de 200 días consecutivos en el año 2045, mientras que para el escenario 8.5 la significancia estadística es alta con un valor de (p-value=0.001) siendo un indicador que hay un incremento de 0.907 $\frac{dias}{año}$ consecutivos con lluvias y un pico máximo de 200 días en los años 2055 y 2070.

En la estación M0128-Pedro Fermín y M0258-Querochaca para el escenario 4.5 presentan el mismo valor en (p-value=0.61) siendo no significativos con una pendiente de 0.116 $\frac{dias}{año}$ en ambos casos y un pico de 170 días cerca al año 2028. Para el escenario 8.5 en las dos estaciones mantienen un pico de 190 días consecutivos de lluvias cercano al año 2058 siendo

medianamente significativo estadísticamente con un valor en (p-value=0.151) y en la pendiente de 0.395 $\frac{dias}{año}$.

4.6. Discusión

A continuación, se presenta en la

Tabla ***16*** un resumen de los Índices recomendados por la ETCCI para temperaturas máximas y mínimas de los dos escenarios de las 4 estaciones en el cual se puede evidenciar que las temperaturas máximas y mínimas tienden a elevarse por encima de los 2°C en la mayoría de los indicadores, pero esto es más evidente en las temperaturas mínimas por el crecimiento frecuente de la ciudad y la construcción de estructuras de concreto y vías asfaltadas causando un efecto de isla de calor urbano disminuyendo los días fríos, magnitud directamente relacionada con las Temperaturas Mínimas.

Con respecto a los índices de temperatura máximas y mínimas se evidencia claramente diferencias entre los dos escenarios habiendo un mayor cambio en la temperatura en el escenario pesimista contra el escenario optimista.

En la Tabla 17, en los resultados se presenta los índices recomendados por el IPCC para la precipitación entre los mas alarmantes se encuentran el aumento de la precipitación en eventos extremos de hasta cinco veces mas a partir del año 2011 hasta el año 2070, respecto a la intensidad y la precipitación total anual hay un notorio aumento en la cantidad, duración de la precipitación diaria y anualmente siendo inversamente proporcional a la disminución de los dias secos consecutivos al año.

Tabla 16

Resumen de los Índices de Cambio Climático Recomendados por la ETCCI para Temperatura en los escenarios RCP4.5 Y RCP 8.5

Cambios Esperados al Año 2070								
Escenario	**RCP 4.5 (Optimista)**				**RCP 8.5 (Pesimista)**			
Índice	**M0008 Puyo**	**M0127 Píllaro**	**M0128 Pedro Fermín**	**M0258 Querochaca**	**M0008 Puyo**	**M0127 Píllaro**	**M0128 Pedro Fermín**	**M0258 Querochaca**
Pendiente	0.031**	0.027**	0.029**	0.029**	0.046**	0.039**	0.037**	0.037**
Valor mensual máximo de temperatura máxima diaria [°C/año](TXx)	Aumento en la temperatura de 2 °C	Aumento en la temperatura de 1.8 °C	Aumento en la temperatura 1.7 °C	Aumento en la temperatura de 1.7 °C	Aumento en la temperatura de 2.9 °C	Aumento en la temperatura de 2.5 °C	Aumento en la temperatura de 2.3 °C	Aumento en la temperatura de 2.3 °C
Pendiente	0.036**	0.032**	0.032**	0.032**	0.045**	0.041**	0.041**	0.04**
Valor mensual mínimo de la temperatura máxima diaria [◦C] (TXN)	Aumento en la temperatura de 2.4 °C	Aumento en la temperatura de 2 °C	Aumento en la temperatura de 2.1 °C	Aumento en la temperatura de 2 °C	Aumento en la temperatura de 2.7 °C	Aumento en la temperatura de 2.7 °C	Aumento en la temperatura de 2.7 °C	Aumento en la temperatura de 2.6 °C
Pendiente	0.516*	0.492*	0.489*	0.485**	0.76**	0.705**	0.706**	0.706**
Días cálidos: días con temperatura máxima sobre el percentil 90 [%/año] (TX90P).	Aumento de 0 a 22 % de días/año al año 2070	Aumento de 0 a 22% de días/año al año 2070	Aumento De 0 a 26% de días/año al año 2070	Aumento de 0 a 25% de días/año al año 2070	Aumento de 0 a 46% de días/año al año 2070	Aumento de 0 a 48% de días/año al año 2070	Aumento de 0 a 48% de días/año al año 2070	Aumento 0 a 48 % de días/año al año 2070
Pendiente	-0.51**	-0.479**	-0.481**	-0.479**	-0.626**	-0.613**	-0.603**	-0.604**
Días fríos: Días con temperatura máxima menor al percentil 10 [%] (TX10P).	Disminuye de 28% a 0 días /año al año 2070	Disminuye de 25% a 0 días /año al año 2070.	Disminuye de 24% a 0 días /año a partir del año 2070.	Disminuye de 24% a 0 días /año al año 2070.	Disminuye de 34% a 0 días /año al año 2060.	Disminuye de 32% a 0 días /año al año 2060.	Disminuye de 31% a 0 días /año al año 2060.	Disminuye de 32% a 0 días /año al año 2060.
Pendiente	0.317**	0.018**	0.002*	0.004*	0.191**	0.055**	0.002*	0.008**
Días Tropicales (Tx>25◦) [día] SU25.	Aumento de 344 a 365 días al año 2040	Se registran días tropicales en el periodo del 2056 al 2063	Se registran días tropicales en el periodo del 2056 al 2063	Se registran días tropicales en el periodo del 2056 al 2063	Aumento de 356 a 365 días al año 2050	Se registran días tropicales regularmente a partir del año 2060	Se registran días tropicales regularmente a partir del año 2060	Se registran días tropicales regularmente a partir del año 2060

Índice	M0008 Puyo	M0127 Píllaro	M0128 Pedro Fermín	M0258 Querochaca	M0008 Puyo	M0127 Píllaro	M0128 Pedro Fermín	M0258 Querochaca
Pendiente	0.028**	0.029**	0.029**	0.029**	0.046**	0.043**	0.043**	0.043**
Valor mensual máximo de temperatura mínima diaria [°C](TNx)	Aumento en la temperatura de 1.7 °C	Aumento en la temperatura de 1.8 °C	Aumento en la temperatura de 2 °C	Aumento en la temperatura de 2 °C	Aumento en la temperatura de 2.9 °C	Aumento en la temperatura de 2.8 °C	Aumento en la temperatura de 2.8 °C	Aumento en la temperatura de 2.7 °C
Pendiente	0.037**	0.033**	0.034**	0.033**	0.055**	0.055**	0.055**	0.055**
Valor mensual mínimo de temperatura mínima diaria. [◦C] (TNn)	Aumento en la temperatura de 2.4 °C	Aumento en la temperatura de 2.1 °C	Aumento en la temperatura de 2.2 °C	Aumento en la temperatura de 2.2 °C	Aumento en la temperatura de 3.6 °C	Aumento en la temperatura de 3.5 °C	Aumento en la temperatura de 3.5 °C	Aumento en la temperatura de 3.6 °C
Pendiente	0.69**	----	----	----	4.804**	-----	-----	-----
Noches tropicales: número de días en un año en que la temperatura mínima supero los 20 ºC [día] (TR20)	Aumento de 0 a 38 días/año a partir del año 2035.	----	----	----	Aumento de 0 a 300 a partir del año 2045	-----	-----	-----
Pendiente	0.585**	0.567**	0.557**	0.558**	0.856**	0.821**	0.823**	0.824**
Noches cálidas: días cuando la temperatura mínima pasa el percentil 90 [%] (TN90P)	Aumento de 0 a 30% días/año	Aumento de 0 a 29% días/año	Aumento de 0 a 28% días/año	Aumento de 0 a 28% días/año	Aumento de 0 a 28% días/año	Aumento de 0 a 40% días/año	Aumento de 0 a 38% días/año	Aumento de 0 a 38% días/año
Pendiente	-0.615**	-0.608**	-0.607**	-0.609**	-0.737**	-0.734**	-0.734**	-0.735**
Noches frías: Días cuando la temperatura mínima es menor al percentil 10 [%] (TN10P)	Disminuye de 35% a 0 días/año a partir del año 2050	Disminuye de 39% a 0 días/año a partir del año 2050.	Disminuye de 39% a 0 días/ a partir del año 2050	Disminuye de 39% a 0 días/año a partir del año 2050	Disminuye de 43% a 0 días/año a partir del año 2040	Disminuye de 42% a 0 días/año a partir del año 2040	Disminuye de 42% a 0 días/año a partir del año 2040	Disminuye de 42% a 0 días/año a partir del año 2040
Pendiente	-0.001	0	0	0	-0.006**	-0.007**	-0.007**	-0.007**
Rango Diurno de temperatura Tx-Tn [◦C/año] (DTR).	No registra cambio significativo	No registra cambio significativo	No registra cambio significativo	No registra cambio significativo	Disminuye 0.4 °C/año Debido al aumento de tmin	Disminuye 0.5 °C/año Debido al aumento de tmin	Disminuye 0.4 °C/año Debido al aumento de tmin	Disminuye 0.5 °C/año Debido al aumento de tmin

Índice	M0008 Puyo	M0127 Píllaro	M0128 Pedro Fermín	M0258 Querochaca	M0008 Puyo	M0127 Píllaro	M0128 Pedro Fermín	M0258 Querochaca
Pendiente	0.402**	0.368**	0.348**	0.348**	0.947**	0.767**	0.756**	0.75**
Indicador de la duración de periodos calientes [día/año] (WSDI)	Aumenta de 0 a 18 días/año a partir del año 2040	Aumenta de 0 a 18 días/año a partir del año 2045	Aumenta de 0 a 10 días/año a partir del año 2050	Aumenta de 0 a 12 días/año a partir del año 2050	Se registra a partir del año 2055	Se registra a partir del año 2055	Aumenta de 0 a 40 días/año a partir del año 2045	Se registra a partir del año 2055
Pendiente	-0.472**	-0.46**	-0.435**	-0.438**	-0.889**	-0.883**	-0.836**	-0.852**
Indicador de la duración de periodos fríos (CSDI) [día/año]	No se registran días fríos a partir del año 2025	No se registran días fríos a partir del año 2025	No se registran días fríos a partir del año 2025	No se registran días fríos a partir del año 2025	No se registran días fríos a partir del año 2025	No se registran días fríos a partir del año 2035	No se registran días fríos a partir del año 2035	No se registran días fríos a partir del año 2035

Nota: El doble asterisco** representa el valor de p-value menor que 0.003 con una significancia estadística alta, un solo asterisco* representa una significancia estadística media, los valores con ausencia de asterisco son no significativos estadísticamente.

Fuente: La Investigación.

Tabla 17

Resumen de los Índices de Cambio Climático Recomendados por la ETCCI para la Precipitación en los Escenarios RCP4.5 y RCP 8.5

Escenarios	RCP 4.5 (Optimista)				RCP 8.5 (Pesimista)			
Índice	**M0008 Puyo**	**M0127 Píllaro**	**M0128 Pedro Fermín**	**M0258 Querochaca**	**M0008 Puyo**	**M0127 Píllaro**	**M0128 Pedro Fermín**	**M0258 Querochaca**
Pendiente	0.024**	0.011**	0.009**	0.009**	0.047**	0.017**	0.014**	0.014**
Índice de intensidad diaria [mm/día/año] (SDII)	Aumento de 9.5 a 11 mm/día/año rr > 1mm	Aumento de 3.4 a 4 mm/día/año rr > 1mm	Aumento de 3 a 3.5 mm/día/año rr > 1mm	Aumento de 3 a 3.5 mm/día/año rr > 1mm	Aumento de 9.1 a 12 mm/día/año rr > 1mm	Aumento de 3.3 a 4.4 mm/día/año rr > 1mm	Aumento de 2.9 a 3.8 mm/día/año rr > 1mm	Aumento de 2.9 a 3.8 mm/día/año rr > 1mm
Pendiente	0.536**	0.204*	0.159*	0.159*	0.815**	0.288**	0.231**	0.231**
Cantidad Máxima de precipitación en 5 días consecutivos [mm/año] (RX5D)	Aumento de 125 a 150 mm/año	Aumento de 50 a 60 mm/año	Aumento de 42 a 52 mm/año	Aumento de 42 a 52 mm/año	Aumento de 110 a 160 mm/año	Aumento de 45 a 63 mm/año	Aumento de 37 a 52 mm/año	Aumento de 37 a 52 mm/año

Índice	M0008 Puyo	M0127 Píllaro	M0128 Pedro Fermín	M0258 Querochaca	M0008 Puyo	M0127 Píllaro	M0128 Pedro Fermín	M0258 Querochaca
Pendiente	0.191*	0.163*	0.132*	0.132*	0.381**	0.163**	0.153**	0.153**
Cantidad Máxima de precipitación en un día [mm/Día] (RX1D)	Aumento de 45 a 55 mm/año	Aumento de 18 a 25 mm/año	Aumento 17 a 23 mm/año	Aumento de 17 a 23 mm/año	Aumento de 38 a 62 mm/año	Aumento de 18 a 28 mm/año	Aumento de 15 a 24 mm/año	Aumento de 15 a 24 mm/año
Pendiente	2.786**	0.992**	0.763**	0.763**	4.413**	1.376**	1.167**	1.176**
Días extremadamente lluviosos (precipitación sobre el percentil 99) [mm/año] (R99p)	Aumento de 50 a 250 mm/año Cinco veces mas	Aumento de 25 a 80 mm/año Mas de Tres veces	Aumento de 25 a 75 mm/año Mas de Tres veces	Aumento de 25 a 70 mm/año Mas de Tres veces	Aumento de 10 a 300 mm/año	Aumento de 15 a 100 mm/año	Aumento de 15 a 80 mm/año	Aumento de 1 5 a 80 mm/año
Pendiente	7.091**	2.522**	1.997**	1.997**	10.624**	3.911**	3.138**	3.138**
Días muy lluviosos (precipitación sobre el percentil 95) [mm/Día/año] (R95p)	Aumento de 300 a 750 mm/día/año	Aumento de 100 a 250 mm/día/año	Aumento de 90 a 225 mm/día/año	Aumento de 60 a 260 mm/día/año	Aumento de 100 a 250 mm/día/año	Aumento de 50 a 325 mm/día/año	Aumento de 90 a 225 mm/día/año	Aumento de 60 a 260 mm/día/año
Pendiente	0.158**	0.004	0.003	0.003	0.271**	0.007*	0.008*	0.008*
Días al año en los que la precipitación muy intensa supera los 25mm [días/año] (R25mm)	Aumento de 7 a 17 días	No se superan los 25mm	No se superan los 25mm	No se superan los 25mm	Aumento de 4 a 22 días	No se superan los 25mm	No se superan los 25mm	No se superan los 25mm
Pendiente	0.268**	0.018*	0.011*	0.011*	0.466**	0.019**	0.012*	0.012*
Días al año con precipitación muy intensa (mayor a 20mm/día) (R20mm) [días/año]	Aumento de 19 a 35 días.	Aumento de 0.4 a 1.4 días. Con picos de hasta 1 a 5 días/año	Aumento de 0.2 a 0.8 días. Con picos de hasta 1 a 4 días/año	Aumento de 0.2 a 0.8 días. Con picos de hasta 1 a 4 días/año	Aumento de 17 a 43 días.	Aumento de 0.3 a 1.5 días. Con picos de hasta 1 a 4 días/año	Aumento de 0.1 a 0.9 días. Con picos de hasta 1 a 3 días/año	Aumento de 0.1 a 0.9 días. Con picos de hasta 1 a 3 días/año
Pendiente	0.489**	0.133**	0.095**	0.095**	0.915**	0.223**	0.15**	0.15**
Días al año con precipitación intensa (mayor a 10mm/día) [días/año] (R10mm)	Aumento de 138 a 170 días	Aumento de 5 a 13 días	Aumento de 4 a 8 días	Aumento de 4 a 8 días	Aumento de 135 a 190 días	Aumento de 4 a 17 días	Aumento de 3 a 12 días	Aumento de 3 a 12 días

Índice	M0008 Puyo	M0127 Píllaro	M0128 Pedro Fermín	M0258 Querochaca	M0008 Puyo	M0127 Píllaro	M0128 Pedro Fermín	M0258 Querochaca
Pendiente	9.003**	4.037**	3.588**	3.588**	17.184**	7.017**	6.087**	6.087**
Precipitación total anual en los días húmedos [mm/año] (PRCPTOT)	Aumento de 3450 a 4000 mm/año	Aumento de 1020 a 1250 mm/año	Aumento de 825 a 1025 mm/año	Aumento de 825 a 1025 mm/año	Aumento de 3300 a 4400 mm/año	Aumento de 950 a 1420 mm/año	Aumento de 800 a 1080 mm/año	Aumento de 800 a 1080 mm/año
Pendiente	-0.005	-0.006	-0.038*	-0.038*	-0.012*	-0.036*	-0.033	-0.033
Días secos consecutivos [día/año] (CDD)	Disminuye de 1.2 a 0.8 día/año	Disminuye de 7 a 6 día/año	Disminuye de 11 a 9 día/año	Disminuye de 11 a 9 día/año	Disminuye de 1.4 a 0.6 día/año	Disminuye de 8 a 6 día/año	Disminuye de 12 a 9 día/año	Disminuye de 12 a 9 día/año
Pendiente	-0.005	-0.006	-0.038*	-0.038*	-0.012*	-0.036*	-0.033	-0.033
Días húmedos consecutivos [día/año] (CWD)	-------	Aumenta de 110 a 120 día/año	Aumenta de 90 a 100 día/año	Aumenta de 90 a 100 día/año	-------	Aumenta de 100 a 155 día/año	Aumenta de 90 a 110 día/año	Aumenta de 90 a 110 día/año

Nota: El doble asterisco** representa el valor de p-value menor que 0.003 con una significancia estadística alta, un solo asterisco* representa una significancia estadística media, los valores con ausencia de asterisco son no significativos estadísticamente.

Fuente: La Investigación.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Con los resultados obtenidos en este estudio presentados en la Tabla 16 y 17,en lo referente a temperaturas máximas podemos concluir que existe un incremento progresivo en la provincia de Tungurahua, según los resultados de las cuatro estaciones (M0008-Puyo, M0127-Píllaro, M0127-Pedro Fermín, M0258-Querochaca), en el RCP 4.5 las temperaturas máximas tienen un incremento de 1.7°C a 2°C y para el RCP 8.5 el incremento sigue siendo sostenido de 2.3°C a 2.9°C, en el caso de las 4 estaciones el incremento más notable se da en la estación M0008-Puyo al estar ubicada en la región amazónica. En cuanto a TXn es importante notar que cada vez existe un incremento en las temperaturas en el RCP 4.5 de 2.0°C a 2.4°C y para el RCP 8.5 de 2.6°C a 2.7°C, siendo constante el incremento en cuanto a Tx.

En cuanto a las temperaturas mínimas se determinó un crecimiento constante siendo claro el incremento de las temperaturas mínimas sobre las temperaturas máximas en el RCP 4.5 de 1.7°C a 2°C y en RCP 8.5 de 2.7°C a 2.9°C, para TNn el incremento en la temperatura mínima está determinada por el efecto de isla de calor urbano presente por la construcción de vías asfaltadas y estructuras de concreto es por eso que en el RCP 4.5 la temperatura incrementa de 2.2°C a 2.4°C y para RCP 8.5 3.5°C a 3.6°C. Para la provincia de Tungurahua se concluyó que es vulnerable a eventos de temperatura máxima y mínima definitivos siendo en la mayoría de los eventos que sobrepasa los 2°C con presencia de cada vez menos días fríos y más días cálidos al año.

Para la precipitación se determinó un incremento en los eventos intensos para las cuatro estaciones de la provincia de Tungurahua siendo más notable el incremento de este tipo de eventos en lo que a duración se refiere en la estación M0008-Puyo de 138 días a 170 días para

el RCP 4.5 y para el RCP 8.5 de 135 días a 190 días. Y un notable crecimiento en la precipitación total en las 4 estaciones de la provincia hasta el año 2070.

Sobre la comparación de datos modelados de la TCN vs los datos in situ mediante la corrección de sesgo vista en la Tabla 15 se, comprobó la confiabilidad del modelo en el Anexo 3 para el posterior análisis de los índices de cambio climático. Respecto al tercer objetivo del estudio del cálculo de los índices de cambio climático al año 2070 en la provincia de Tungurahua se determinó que respecto a los datos modelados los eventos extremos para temperatura y precipitación en todas las variables son muy notables dando un definido indicador de cambio climático irreversible en la provincia.

Los resultados muestran que adicional a los efectos negativos de cambio climático, el aumento de la temperatura también afecta la salud (Montenegro et al., 2022), además es necesario tener en cuenta la afectación en las actividades agropecuarias al variar los patrones de producción es necesario la transición a otro tipo de actividades.

Es necesario indicar que si bien es cierto, se presentan las proyecciones de un modelo nacional validado con datos in situ en el Ecuador, siguiendo las recomendaciones del IPCC, se trata de una herramienta con crecientes incertidumbres, propias de la naturaleza no lineal de las ecuaciones de dinámica de fluidos.

5.2. Recomendaciones

El presente estudio se realizó con el fin de conocer los cambios esperados en la provincia de Tungurahua en lo que corresponde a cambio climático al año 2070 y que los resultados obtenidos puedan ser tomados en cuenta para desarrollar estrategias, políticas, planes de adaptación y mitigación por parte de organizaciones públicas y privadas del país, al tener conocimiento de eventos de precipitación y temperatura a futuro.

En lo que se refiere al manejo de datos de las estaciones meteorológicas es recomendable realizar un correcto control de calidad para evitar errores en el análisis de los índices de cambio climático, también se recomienda la utilización de los modelos proporcionados por la TCN para futuros análisis de cambio climático, y previo al procesamiento de datos modelados es recomendable revisar la redacción correcta del código fuente del software RClimDex.

6. BIBLIOGRAFÍA

Aguirre, N., Eguiguren, P., Maita, J., Coronel, V., Samaniego, N., Ojeda, T., y Aguirre, Z. (2015). Vulnerabilidad al cambio climático en la Región Sur del Ecuador: Potenciales impactos en los ecosistemas, producción de biomasa y producción hídrica. En *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53, Número 9). https://www.researchgate.net/profile/Juan-Maita/publication/298753988_Vulnerabilidad_al_cambio_climatico_en_la_Region_Sur_del_Ecuador_Potenciales_impactos_en_los_ecosistemas_produccion_de_biomasa_y_produccion_hidrica/links/56f5e70508ae7c1fda2eec85/Vulnera

Álvarez, H. (2020). *"CARACTERIZACIÓN DE LA ISLA DE CALOR URBANA SUPERFICIAL EN LA CIUDAD DE CUENCA MEDIANTE IMÁGENES SATELITALES"* [UNIVERSIDAD DE CUENCA]. http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/34420

Amblar Francés, M. P., Ramos-Calzado, P., Pastor-Saavedra, A., y Rodríguez-Camino, E. (2018). Comparación entre métodos de corrección de sesgo para las proyecciones de cambio climático en los Pirineos. *Acta de las Jornadas Científicas de la Asociación Meteorológica Española*, *1*(35), 362–367. https://doi.org/10.30859/amejrcn35p362

Arata de Bellabarba, G. (2008). Cambio climático: Efectos sobre la salud. *Revista Venezolana de Endocrinología y Metabolismo*. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=375540218001

Castillo, L. P., y Vides, M. A. (2014). *ESTADO DEL ARTE BASADO EN LA IMPLEMENTACIÓN DE MODELOS DE CAMBIO CLIMÁTICO PARA LA PROYECCIÓN FUTURA DE CAUDALES MEDIOS ANUALES EN EL MARCO DE ESTUDIOS DE IMPACTO* [UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR]. https://biblioteca.utb.edu.co/notas/tesis/0066702.pdf

Cordero, R. R., Feron, S., Damiani, A., Llanillo, P., Carrasco, J., Jorquera, J., Sepúlveda, E., y Carrera, J. M. (2019). *Cambio Climático. Respuestas a las Preguntas Claves* (Número November). https://www.researchgate.net/publication/337654931_Cambio_Climatico_-_Respuestas_a_las_Preguntas_Claves_in_Spanish#fullTextFileContent

Díaz, G. (2012). El cambio climatico. *Ciencia y Sociedad*, *37*, 227–240. https://www.redalyc.org/pdf/870/87024179004.pdf

Elbehri, A., Calberto, G., Staver, C., Hospido, A., y Skully, D. (2015). *CAMBIO CLIMÁTICO Y SOSTENIBILIDAD DEL BANANO EN EL ECUADOR: Evaluación de impacto y*

directrices de política. (FAO), Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. https://www.fao.org/3/i5116s/i5116s.pdf

García, R. (2016). *¿ Y DESPUÉS DE LA CUMBRE DE PARÍS ? ¿QUE ES EL IPCC? 120*, 9. https://biblioteca.hegoa.ehu.eus/downloads/20918/%2Fsystem%2Fpdf%2F4239%2FTP-120-_Y-despues-de-la-cumbre-de-Paris.pdf#page=10

Gobierno Provincial de Tungurahua. (2015). *AGENDA TUNGURAHUA DESDE LA VISIÓN TERRITORIAL*. http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/1860000130001_PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL TUNGURAHUA 2015-2016_11-05-2016_08-30-43.pdf

Gobierno Provincial de Tungurahua. (2021). *AGENDA TUNGURAHUA 2019 - 2021*. https://www.tungurahua.gob.ec/images/archivos/transparencia/2020/Agenda_Tungurahua2019-2021.pdf

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (2017). El IPCC y el Sexto ciclo de evaluación. *Paper Knowledge . Toward a Media History of Documents*. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/09/AC6_brochure_es.pdf

Guamán, J. (2020). *ÍNDICES DE CAMBIO CLIMÁTICO Y SU AFECTACIÓN A LA AGRICULTURA, CASO DE ESTUDIO CANTÓN AMBATO* [UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA]. https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/19187

Gutiérrez, J. M. (2009). *ESCENARIOS REGIONALES DE CAMBIO CLIMÁTICO: DOWNSCALING ESTADÍSTICO Y DINÁMICO*. 123–138. https://www.meteo.unican.es/es/node/72873

INHAMI, y Palacios, J. (2014). *Análisis de lás condiciones climáticas registradas en el Ecuádor continentál en el año 2013 y su impácto en el sector ágrícola.* https://www.inamhi.gob.ec/docum_institucion/PubliTecnicas/Informe2014SNGR.pdf

IPCC. (2001). *Anexo B. Glosario de términos*. 173–199. https://archive.ipcc.ch/pdf/glossary/tar-ipcc-terms-sp.pdf

IPCC. (2014). Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. En *Contribución de los Grupos de trabajo I,II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full_es.pdf

IPCC. (2019). Calentamienot Global de 1.5 °C. En *Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*.

Lastra Llerena, J. P., y Molina Veintimilla, J. R. (2013). Diseño, construcción e implementación de un sistema de gestión de información agroclimatológica para el subproceso de estudios e investigación metereológica del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología - INAMHI. En *Tesis*. https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/5539

Montenegro, M., Campozano, L., Urdiales, D., Maisincho, L., Serrano, S., y Borbor, M. (2022). Assessment of the Impact of Higher Temperatures Due to Climate Change on the Mortality Risk Indexes in Ecuador Until 2070. *Frontiers in Earth Science*, *9*. https://doi.org/10.3389/feart.2021.794602

Navarro, C. (2016). *Nuevos datos diarios de clima para simulaciones de crecimiento de cultivos*. https://blog.ciat.cgiar.org/es/nuevos-datos-diarios-de-clima-para-simulaciones-de-crecimiento-de-cultivos/

Ocaña, F. (2017). *T´ecnicas estadísticas en Nutrición y Salud Tratamiento estadístico de outliers y datos faltantes*. 2. http://www.ugr.es/~fmocan/MATERIALES DOCTORADO/Tratamiento de outliers y missing.pdf

Oltra, C., Sola, R., Sala, R., Prades, A., y Gamero, N. (2009). *CAMBIO CLIMÁTICO: PERCEPCIONES Y DISCURSOS PÚBLICOX*. *2*(prismasocial-revista de ciencias sociales), 3. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5602138

Pacheco, A. (2022). ESTUDIO DE CAMBIO CLIMÁTICO Y SUS PROYECCIONES AL 2070 EN EL CANTÓN VENTANAS, PROVINCIA DE LOS RÍOS [UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA]. En *Tesis*. http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/22195

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2017). *Ecuador lanza su Tercera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático*. https://www.ec.undp.org/content/ecuador/es/home/presscenter/articles/2017/06/22/ecuador-lanza-su-tercera-comunicaci-n-nacional-sobre-cambio-clim-tico0.html

Rodríguez, E., Picatoste, J., y Heras, F. (2014). Quinto Informe de Evaluación del IPCC. *Ambienta: La Revista de Ministerio del Medio Ambiente*, *43*, 38. http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3430207

Sandoval, M. (2020). *Análisis de las iniciativas del Ecuador en las negociaciones internacionales sobre cambio climático COP21 y COP23* [Universidad Andina Simón

Bolívar]. http://hdl.handle.net/10644/7430

Tufiño, R. (2021). *Conversor-Datos-Meteorologicos*. https://github.com/rtufino/Conversor-Datos-Meteorologicos/blob/master/conversor.py

UNICEF. (2013). *Diagnóstico de la situación*. 20.

Vargas, P. (2009). *El Cambio Climático y Sus Efectos en el Perú*. https://doi.org/10.1007/978-3-642-00621-0_7

Zhang, X., y Yang, F. (2004). *RClimDex (1.0) User Manual*. https://acmad.net/rcc/procedure/RClimDexUserManual.pdf

Zucarelli, A., Paris, M., y Macor, J. (2005). Utilización de kriging para la elaboración de curvas isohietas de precipitación mensual en la provincia de Santa Fe, Argentina. *Facultad de Ingeniería en Ciencias Hídricas*, 1–10. https://www.ina.gob.ar/ifrh-2014/Eje3/3.39.pdf

7.ANEXOS

Anexo 1

Definición de los Índices de Cambio Climático Establecidos en RClimDex

FDO	Sea Tn_{ij} la temperatura mínima diaria en el día en el periodo . Cuente el número de días cuando:	$Tn_{ij} < 0°C$
SU25	Sea Tx_{ij} la temperatura máxima diaria en el día periodo . Cuente el número de días cuando:	$Tx_{ij} > 25°C$
ID0	Sea Tx_{ij} la temperatura máxima diaria en el día en el periodo . Cuente el número de días cuando:	$Tx_{ij} < 0°C$
TR20	Sea Tn_{ij} la temperatura mínima diaria en el día en el periodo . Cuente el número de días cuando:	$Tn_{ij} > 20°C$
GSL	Sea T_{ij} la temperatura media en el día i en el periodo j. Cuente el número de días entre la primera ocurrencia de por lo menos 6 días consecutivos con: Y la primera ocurrencia después de 1st Julio (1st enero en HS) de por lo menos 6 días consecutivos con:	$T_{ij} > 5^o C$ $T_{ij} < 5^o C$
TXx	Sea Tx_{kj} la temperatura máxima diaria en el mes k, periodo j. La máxima temperatura máxima diaria cada mes es entonces:	$TXx_{kj} = \max(Tx_{kj})$
TNx	Sea Tn_{kj} la temperatura mínima diaria en el mes k, periodo j. La máxima temperatura mínima diaria cada mes es entonces:	$TNx_{kj} = \max(Tn_{kj})$
TXn	Sea Tx_{kj} la temperatura máxima diaria en el mes k, periodo j. La mínima temperatura máxima diaria cada mes es entonces:	$TXn_{kj} = \min(Tx_{kj})$
TNn	Sea Tn_{kj} la temperatura mínima diaria en el mes k, periodo j. La mínima temperatura mínima diaria en cada mes es entonces:	$TNn_{kj} = \min(Tn_{kj})$

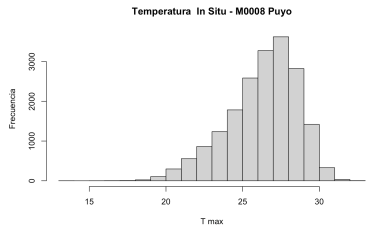
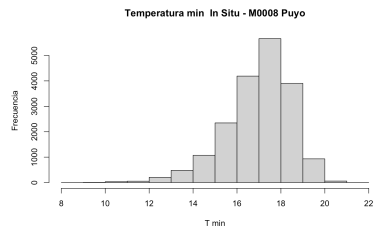
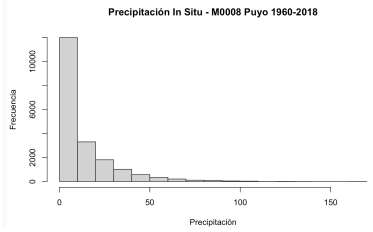
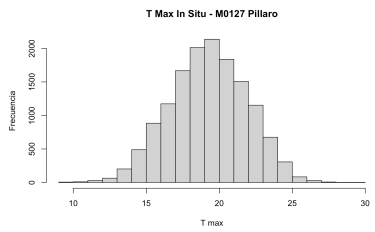
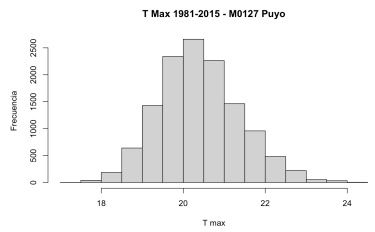
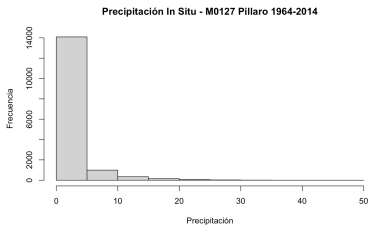
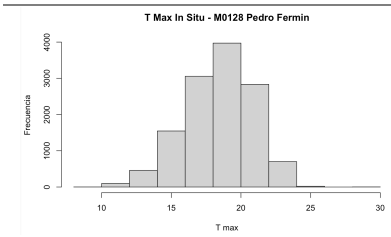
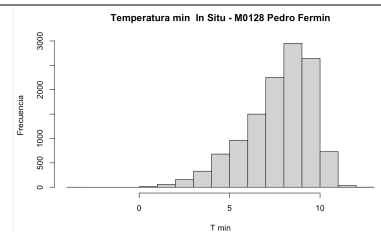
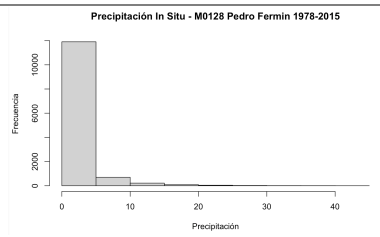
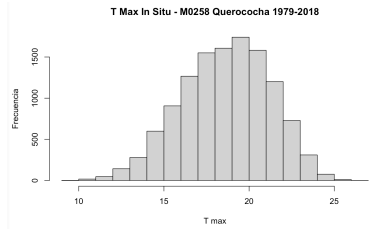
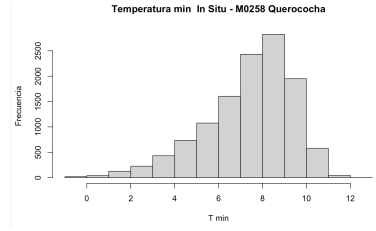
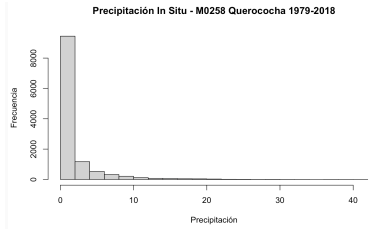
Tn10p	Sea Tn_{ij} la temperatura mínima diaria en el día i en el periodo j y sea $Tn_{in}10$ el día calendario del percentil 10th centrado en una ventana de 5-días (calculado usando el método del Anexo D). El porcentaje del tiempo es determinado, donde:	$Tn_{ij} < Tn_{in}10$
Tx10p	Sea Tx_{ij} la temperatura máxima diaria en el día en el periodo y sea $Tx_{in}10$ el día calendario del percentil 10th centrado en una ventana de 5-días (calculado usando el método del Anexo D). El porcentaje del tiempo es determinado, donde:	$Tx_{ij} < Tx_{in}10$
Tn90p	Sea Tn_{ij} la temperatura mínima diaria en el día i en el periodo j y sea $Tn_{in}90$ el día calendario del percentil 90th centrado en una ventana de 5-días (calculado usando el método del Anexo D). El porcentaje del tiempo es determinado, donde:	$Tn_{ij} > Tn_{in}90$
Tx90p	Sea Tx_{ij} la temperatura máxima diaria en el día i en el periodo j y sea $Tx_{in}90$ el día calendario del percentil 90th centrado en una ventana de 5-días (calculado usando el método del Anexo D). El porcentaje del tiempo es determinado, donde:	$Tx_{ij} > Tx_{in}90$
WSDI*	Sea Tx_{ij} la temperatura máxima diaria en el día i en el periodo j y sea $Tx_{in}90$ el día calendario del percentil 90th centrado en una ventana de 5-días (calculado usando el método del Anexo D). Entonces el número de días por periodo es sumado donde, en intervalos de por lo menos 6 días consecutivos:	$Tx_{ij} > Tx_{in}90$
CSDI*	Sea Tn_{ij} la temperatura mínima diaria en el día i en el periodo j y sea $Tx_{in}10$ el día calendario del percentil 10th centrado en una ventana de 5-días (calculado usando el método del Anexo D). Entonces el número de días por periodo es sumado donde, en intervalos de por lo menos 6 días consecutivos:	$Tn_{ij} < Tn_{in}10$
DTR	Sean Tx_{ij} y Tn_{ij} las temperaturas diarias máximas y mínimas respectivamente en el día i en el periodo j. Si representa el número de días en , entonces:	$DTR_j = \frac{\sum_{i=1}^{I}(Tx_{ij} - Tn_{ij})}{I}$
RX1day	Sea RR_{ij} el total diario de precipitación en el día i en el periodo j. Entonces los valores máximos de 1-día para el periodo j son:	$Rx1day_j = \max(RR_{ij})$

Rx5day	Sea RR_{kj} la cantidad de precipitación para el intervalo de cinco días terminando en k, periodo j. Entonces los valores máximos de 5-días para el periodo j son:	$Rx5day_j = \max(RR_{kj})$
SDII	Sea RR_{wj} la cantidad diaria de precipitación en días húmedos, $w(RR \geq 1mm)$ en el periodo j. Si W representa el número de días húmedos en , entonces:	$SDII_j = \frac{\sum_{w=1}^{W} RR_{wj}}{W}$
R10	Sea RR_{ij} la cantidad diaria de precipitación en el día i en el periodo j. Cuente el número de días donde:	$RR_{ij} \geq 10mm$
R20	Sea RR_{ij} la cantidad diaria de precipitación en el día i en el periodo j. Cuente el número de días donde:	$RR_{ij} \geq 20mm$
Rnn	Sea RR_{ij} la cantidad diaria de precipitación en el día i en el periodo j. Si nn representa cualquier valor razonable de precipitación diaria entonces, cuente el número de días donde:	$RR_{ij} \geq nnmm$
CDD*	Sea RR_{ij} la cantidad diaria de precipitación en el día i en j el periodo. Cuente el más grande número de días consecutivos donde:	$RR_{ij} < 1mm$
CWD*	Sea RR_{ij} la cantidad diaria de precipitación en el día i en el periodo j. Cuente el más grande número de días consecutivos donde:	$RR_{ij} \geq 1mm$
R95TOT	Sea RR_{wj} la cantidad diaria de precipitación en un día húmedo $w(RR \geq 1.0mm)$ en el periodo j y sea $RR_{wn}95$ el percentil 95th de precipitación en los días húmedos en el periodo 1961-1990. Si W representa el número de días húmedos en el periodo, entonces:	$R95p_j = \sum_{w=1}^{W} RR_{wj}$ where $RR_{wj} > RR_{wn}95$
R99p	Sea RR_{wj} la cantidad diaria de precipitación en un día húmedo $w(RR \geq 1.0mm)$ en el periodo j y sea $RR_{wn}99$ el percentil 99th de precipitación en los días húmedos en el periodo 1961-1990. Si W representa el número de días húmedos en el periodo, entonces:	$R99p_j = \sum_{w=1}^{W} RR_{wj}$ where $RR_{wj} > RR_{wn}99$
PRCPTOT	Sea RR_{ij} la cantidad diaria de precipitación en el día i en el periodo j. Si I representa el número de días en j, entonces:	$PRCPTOT_j = \sum_{i=1}^{I} RR_{ij}$

Nota: Tomado de (Zhang y Yang, 2004)

Anexo 2

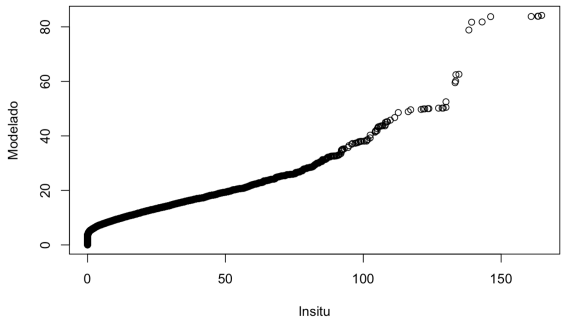
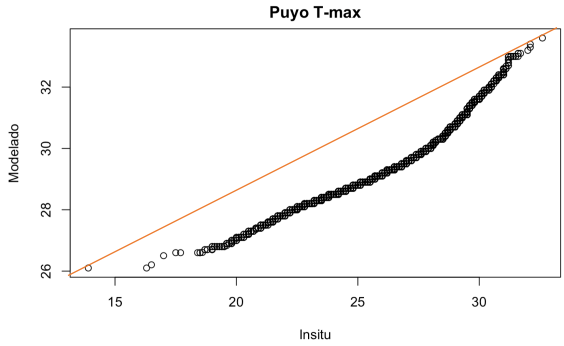
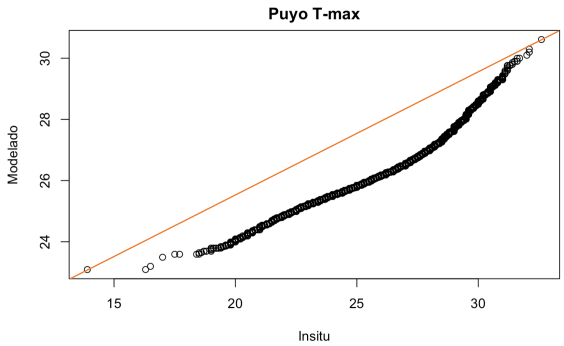
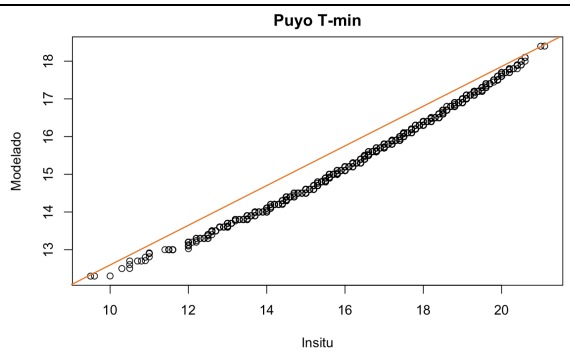
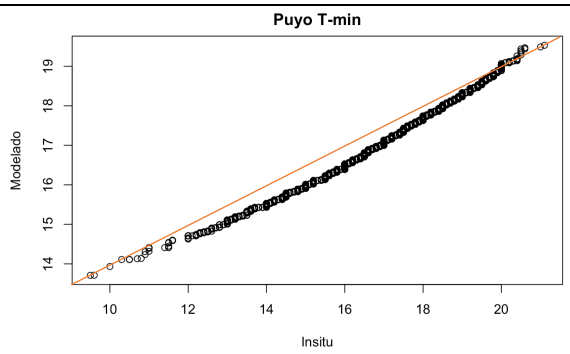
Histogramas de la Data in situ

M0008 – PUYO		
Tmax	Tmin	Precipitación
		
M0127- PÍLLARO		
Tmax	Tmin	Precipitación
		
M0128- PEDRO FERMÍN		
Tmax	Tmin	Precipitación
		
M0258 - QUEROCHACA		
Tmax	Tmin	Precipitación
		

Fuente: La Investigación.

Anexo 3

qq-plots (Data in situ vs Datos Históricos modelados) para la Estación Puyo

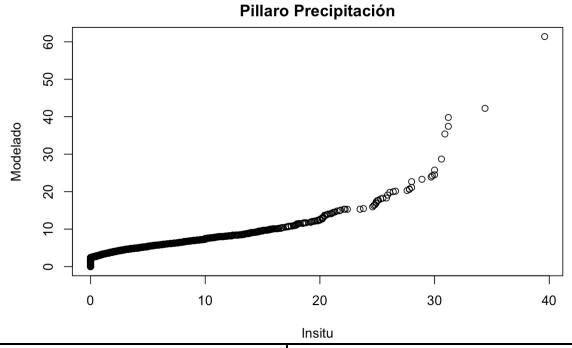
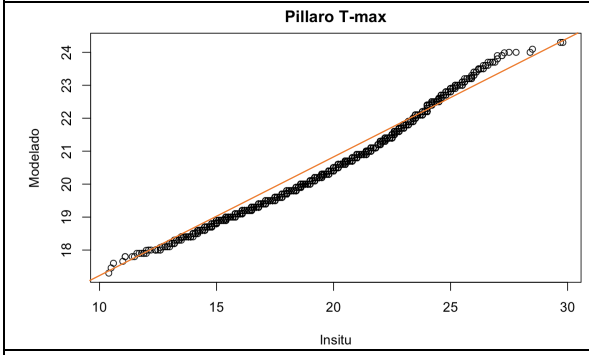
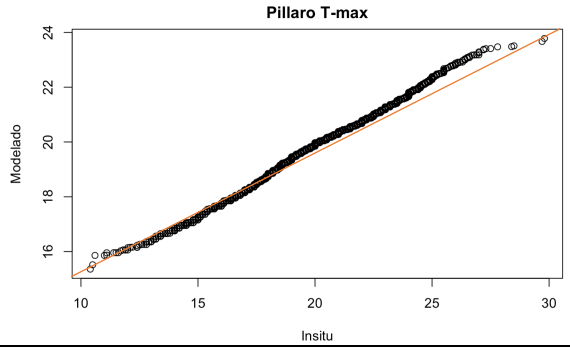
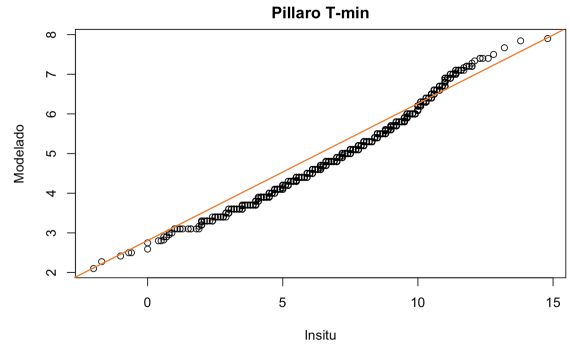
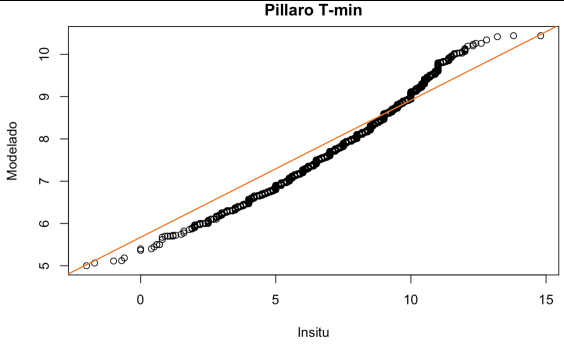
<table>
<tr><td colspan="2">M0008 - PUYO</td></tr>
<tr><td colspan="2">Precipitación - Puyo</td></tr>
<tr><td colspan="2"> 
</td></tr>
<tr><td>T Max</td><td>T Max***</td></tr>
<tr><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>T Min</td><td>T Min***</td></tr>
<tr><td> 
</td><td> 
</td></tr>
</table>

Nota: El *** representa la variable graficada con la corrección de sesgo

Fuente: La Investigación.

Anexo 4

qq-plots (Data in situ vs Datos Históricos modelados) para la Estación Píllaro

<table>
<tr><td colspan="2">M0127 - PÍLLARO</td></tr>
<tr><td colspan="2">Precipitación</td></tr>
<tr><td colspan="2"> 
</td></tr>
<tr><td>T Max</td><td>T Max***</td></tr>
<tr><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>T Min</td><td>T Min***</td></tr>
<tr><td> 
</td><td> 
</td></tr>
</table>

Nota: El *** representa la variable graficada con la corrección de sesgo

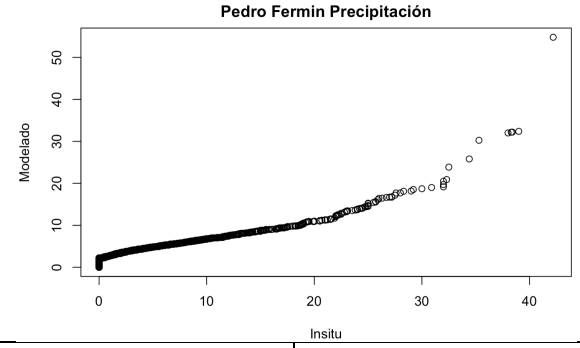
Fuente: La Investigación.

Anexo 5

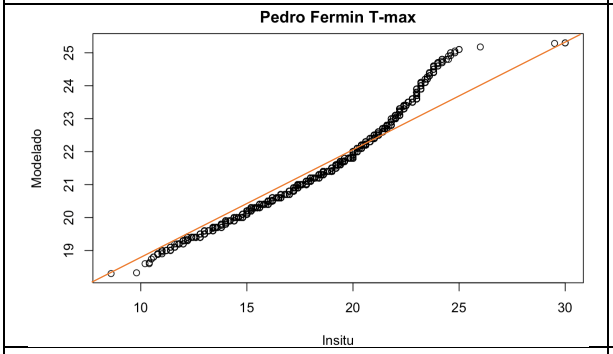
qq-plots (Data in situ vs Datos Históricos modelados), para la Estación Pedro Fermín

M0128 – PEDRO FERMÍN

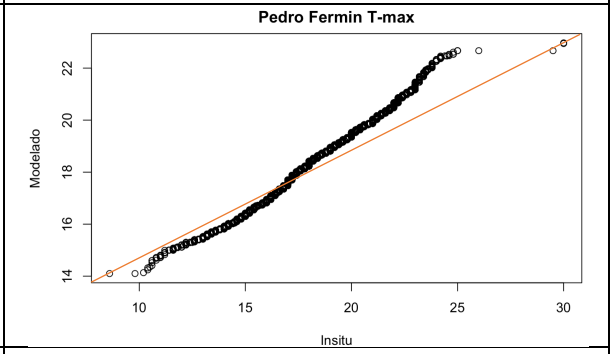
Precipitación



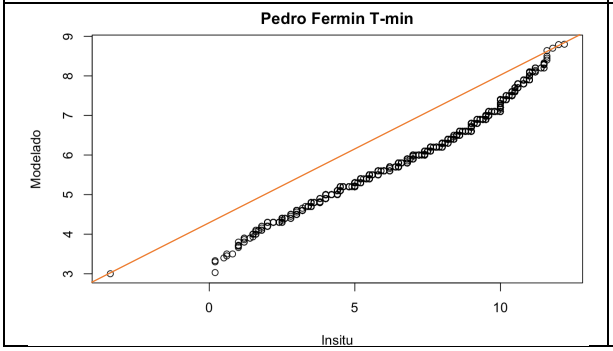
T Max



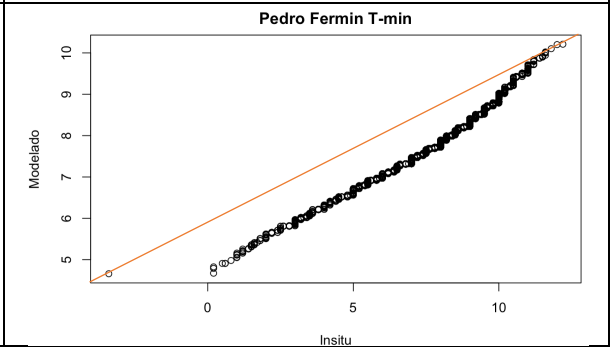
T Max***



T Min



T Min ***



Nota: El *** representa la variable graficada con la corrección de sesgo

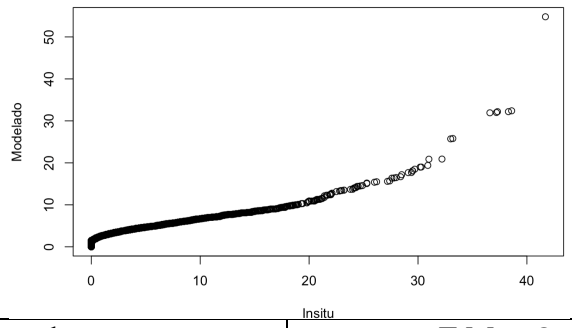
Fuente: La Investigación.

Anexo 6

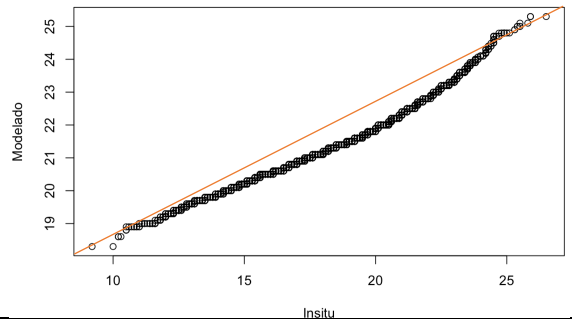
qq-plots (Data in situ vs Datos Históricos modelados), para la Estación Querochaca

M0258 - QUEROCHACA

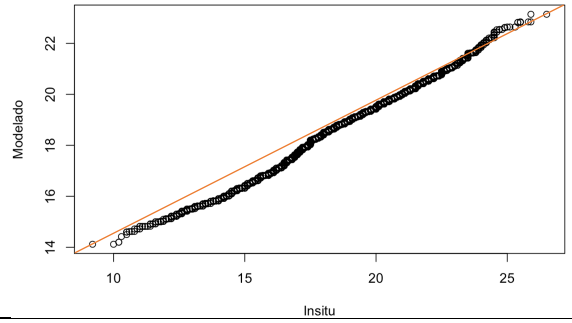
Precipitación Querochaca



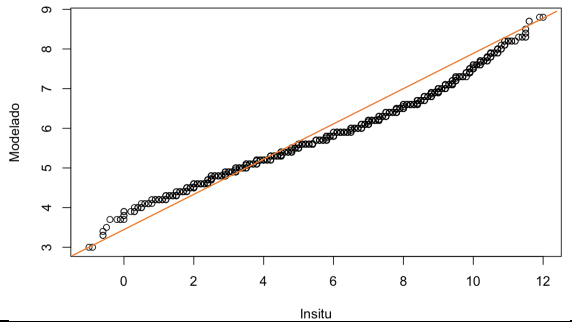
T Max Querochaca



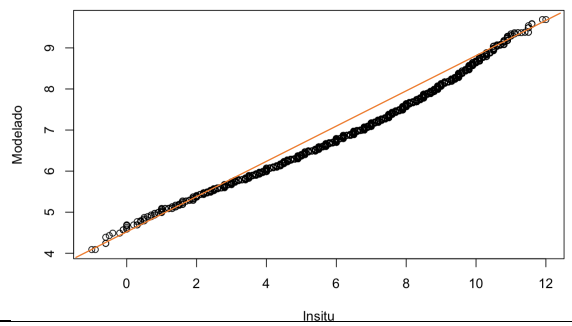
T Max Querochaca ***



T Min Querochaca



T Min Querochaca ***



Nota: El *** representa la variable graficada con la corrección de sesgo

Fuente: La Investigación.