



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

“ANÁLISIS DE LA VARIABILIDAD DE LA PRECIPITACIÓN EN EL RÉGIMEN PLUVIOMÉTRICO, EN LA CIUDAD DE RIOBAMBA”

Trabajo de titulación presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

AUTOR: ALEX DARÍO MOROCHO YAMBAY

TUTOR: ING. MIGUEL SANTILLÁN QUIROGA

Riobamba-Ecuador

2019

© 2019, Alex Darío Morocho Yambay

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

El Tribunal de Tesis certifica que: El trabajo de investigación: “ANÁLISIS DE LA VARIABILIDAD DE LA PRECIPITACIÓN EN EL RÉGIMEN PLUVIOMÉTRICO, EN LA CIUDAD DE RIOBAMBA” de responsabilidad del señor Alex Darío Morocho Yambay, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal de Tesis, quedando autorizada su presentación.

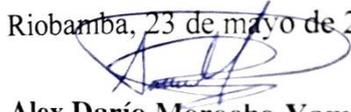
	FIRMA	FECHA
Ing. Luis Miguel Santillán Quiroga DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN		2019-05-23
Ing. Andrés Agustín Beltrán Dávalos MIEMBRO DEL TRIBUNAL		2019-05-23

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Alex Darío Morocho Yambay soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este trabajo de titulación. Los textos constantes en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos del presente trabajo de titulación. El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Riobamba, 23 de mayo de 2019



Alex Darío Morocho Yambay

CI: 060494687-1

DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado a mis padres Manuel y Anita por ser mi inspiración, por apoyarme en todo momento, por regalarme esa maravillosa oportunidad que es la “educación” y sobre todo por creer en mí. A mis hermanas: Jeaneth, Jessica, Erika y Evelin por ser incondicionales en cada etapa de mi vida e inspirarme. A mis familiares y amigos por formar parte positiva de mi vida.

Al-éxito.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi Padre Dios por su amor infinito y por permitirme cada mañana seguir logrando mis sueños. A mis padres y hermanas por amarme y creer en mí en todo momento. A mis amigos, en especial Juan y Joel por sostenerme ante las adversidades.

Agradezco a todos los docentes de la ESPOCH que me educaron en estos años, en especial al Ing. Miguel Santillán e Ing. Andrés Beltrán por apoyarme y asesorarme en la realización del presente trabajo.

Un agradecimiento especial al Ing. Antonio Salas (Coordinador Regional Proceso Desconcentrado de la Cuenca del Río Pastaza) y al Sr. Mario Almache (Jefe de la Dirección de Aviación Civil – Riobamba) por facilitarme el acceso a los datos meteorológicos de las estaciones meteorológicas ESPOCH-INAMHI y DAC respectivamente.

Alex

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	xiii
SUMMARY	xiv
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	3
1.1 Antecedentes	3
1.2 Marco conceptual	4
<i>1.2.1 Precipitación</i>	<i>4</i>
<i>1.2.1.1 Medición.....</i>	<i>4</i>
<i>1.2.2 Temperatura del aire</i>	<i>4</i>
<i>1.2.3 Serie temporal.....</i>	<i>5</i>
<i>1.2.4 Cambio climático</i>	<i>5</i>
<i>1.2.5 Variabilidad climática</i>	<i>5</i>
<i>1.2.5.1 Fenómeno del Niño</i>	<i>6</i>
<i>1.2.6 Provincia de Chimborazo</i>	<i>6</i>
<i>1.2.7 Ciudad de Riobamba</i>	<i>7</i>
<i>1.2.7.1 Subcuenta del río Chambo</i>	<i>8</i>
<i>1.2.7.2 Estaciones meteorológicas.....</i>	<i>9</i>
<i>1.2.7.3 Coordenadas de la estación de estudio.....</i>	<i>10</i>
<i>1.2.8 R-Climdex</i>	<i>11</i>
<i>1.2.9 Homogeneización de datos.....</i>	<i>11</i>
<i>1.2.9.1 RHTEST V4.....</i>	<i>11</i>

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO.....	12
2.1 Hipótesis y especificación de las variables	12
2.1.1 Hipótesis	12

2.1.2	Variables	12
2.1.2.1	<i>Variable independiente</i>	12
2.1.2.2	<i>Variable dependiente</i>	12
2.2	Tipo y diseño de la investigación	12
2.3	Recopilación de información	12
2.3.1	<i>Selección del Área de Estudio</i>	12
2.3.2	<i>Selección de índices climáticos</i>	13
2.4	Procesamiento de datos	14
2.4.1	<i>Control de Calidad de Datos</i>	15
2.4.1.1	<i>Control de Calidad con RCLimdex</i>	15
2.4.1.2	<i>Homogeneización de datos</i>	16
2.5	Ejecución del modelo RCLimdex	18
2.5.1	<i>Preparación de información</i>	18
2.5.2	Interfaz gráfica	18
2.5.3	<i>Calculo de índices de precipitación</i>	18
2.5.4	<i>Salida de Datos</i>	20
2.5.4.1	<i>Graficación y análisis en mapas de tendencia</i>	20
CAPÍTULO III		
3.	MARCO DE RESULTADOS, DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	23
3.1	Análisis de resultados	23
3.1.1	<i>Confiabilidad de la serie temporal</i>	23
3.1.2	<i>Índices de extremos climáticos</i>	24
3.1.2.1	<i>Índice R10mm</i>	25
3.1.2.2	<i>Índice R99P</i>	27
3.1.2.3	<i>IndicesRX1day y RX5day</i>	28
3.1.2.4	<i>Índice SDII</i>	32
3.1.3	<i>Precipitación total anual</i>	33
3.2	Confiabilidad de los resultados	35
3.3	Discusión de los resultados	36

CONCLUSIONES	37
RECOMENDACIONES	38
BIBLIOGRAFÍA	39

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2: Índices de extremos climáticos para la precipitación.....	13
Tabla 1-3: Índices climáticos de precipitación para la Estación ESPOCH.....	25
Tabla 2-3: Índice R10mm calculado por año.....	26
Tabla 3-3: Índice R99P calculado por año.....	28
Tabla 4-3: Índice RX1day en meses y años (mm).....	30
Tabla 5-3: Índice RX5day en meses y años (mm).....	31
Tabla 6-3: Índice SDII en años.....	33
Tabla 7-3: Precipitaciones totales anuales periodo 1976-2017.....	34

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Mapa de la precipitación promedio anual en la provincia de Chimborazo.....	7
Figura 2-1: Ubicación geográfica de la microcuenca del Chibunga.....	8
Figura 3-1: Distribución espacial de las estaciones meteorológicas en la subcuenca chambo...	9
Figura 4-1. Vista espacial de la estación meteorológica de la ESPOCH.....	10
Figura 5-1: Fotografía de la estación meteorológica de la ESPOCH.....	10
Figura 1-2: Series temporales de la Estación Meteorología ESPOCH.....	14
Figura 2-2: Procesamiento de la serie de datos de la Estación Meteorológica ESPOCH...	17
Figura 3-2: Formato de ingreso de datos en RClindex.....	18
Figura 4-2: Ejecución del programa RClindex para el cálculo de índices climáticos.....	22
Figura 1-3: Graficas de identificación de datos faltantes.....	23
Figura 3-2: Series temporales homogeneizadas.....	24

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1-2: Grafica del Índice climático CDD.....	21
Gráfica 1-3: Índice de extremo climático R10mm periodo 1976-2017.....	26
Gráfica 2-3: Índice de extremo climático R99p periodo 1976-2017.....	27
Gráfica 3-3: Índice de extremo climático Rx1day periodo 1976-2017.....	29
Gráfica 4-3: Índice de extremo climático RX5day periodo 1976-2017.....	29
Gráfica 5-3: Índice de extremo climático SDII periodo 1976-2017.....	32
Gráfica 6-3: Índice de extremo climático PRCPTOT en el periodo 1976-2017.....	35

RESUMEN

Estudios preliminares indicaron que las precipitaciones en la provincia de Chimborazo han variado a una tendencia creciente en las últimas décadas. En la ciudad de Riobamba que es parte de la provincia se determinó la variabilidad de la precipitación a lo largo de 42 años, desde 1976 a 2017. Para ello se utilizaron los registros meteorológicos de la estación meteorológica de la ESPOCH que comprendieron datos de precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima. Estos datos fueron validados al exponerlos a un control de calidad y homogeneización, en donde se identificó datos faltantes y la ausencia de datos inconsistentes. Para determinar la variabilidad se calcularon 11 índices de extremos climáticos mediante el programa meteorológico RCLimdex, de los cuales R10mm, R99p, RX1day, RX5day y SDII fueron estadísticamente significativos para el estudio. R10mm indicó un aumento de días con precipitaciones altas, R99p un incremento de la precipitación en 7mm por década, RX1day y RX5day indicaron incrementos de 4mm por década en los días más lluviosos del año, mientras que SDII determinó aumentos en la intensidad de la lluvia. Con estos índices se pudo concluir que existe hasta un 95% de confianza de que existen variaciones en el comportamiento de la lluvia durante los últimos 42 años en la ciudad de Riobamba, registrando un aumento en el nivel del régimen pluviométrico. Se sugiere realizar estudios hidrográficos, orográficos y de vegetación para poder determinar las posibles causas de la variabilidad climática en la ciudad de Riobamba.

Palabras clave: <INGENIERIA AMBIENTAL>, <VARIABILIDAD CLIMATICA>, <METEOROLOGÍA>, <PRECIPITACIÓN>, <ÍNDICES DE EXTREMOS CLIMATICOS>, <RCLIMDEX (SOFTWARE)>, <RIOBAMBA (CANTON)>



SUMMARY

Preliminary studies indicated that rainfall in Chimborazo province has varied to a growing trend in recent decades. In Riobamba city, which is part of the region, the variability of rainfall was determined over 42 years, from 1976 to 2017. For this purpose, the weather records of the Higher Polytechnic School of Chimborazo meteorological station were used, which included data on precipitation, maximum temperature, and minimum temperature. These data were validated by exposing them to quality control and homogenization, where they identified missing data and the absence of inconsistent data. Eleven climatic extreme indices were calculated using the Rclimdex weather program to determine the variability, of which R10mm, R99p, RX1day, RX5day, and SDII were statistically significant for the study. The R10mm indicated an increase in days with high rainfall, R99p an increase in precipitation by 7mm per decade, RX1day and RX5day reported increases of 4mm per decade on the rainiest days of the year; while SDII determined increases in rainfall intensity. With these indicators it was concluded that there is up to 95% confidence that there are variations in the behavior of rainfall during the last 42 years in the city of Riobamba, registering an increase in the level of the rainfall regime. It is suggested to carry out hydrographic orographic, and vegetation studies to determine the possible causes of climatic variability in Riobamba city.

Keywords: <ENVIRONMENTAL ENGINEERING>, <CLIMATE VARIABILITY>, <METEOROLOGY>, <RAINFALL>, <CLIMATE EXTREMES RATES>, <RCLIMDEX (SOFTWARE)>, <RIOBAMBA (CANTON)>.



INTRODUCCIÓN

La variación y cambio climática en el mundo ha sido más notorio; todo apunta a que la acumulación de gases invernadero en la atmósfera de la Tierra, debido a las actividades humanas, ha provocado que las temperaturas del aire y del océano se incrementen, sin descartar que algunos de estos cambios sean parte de la variabilidad natural. A causa de este cambio, en los últimos años se han presentado cambios climáticos inusuales a nivel mundial (Bradley *et al.*, 1987; Diaz, Bradley y Eischeid, 1989; Hulme, Osborn y Johns, 1998). Hulme *et al.* (1998) y Jones (1996) indican que la precipitación ha venido incrementándose a nivel global aproximadamente 2% desde inicios del siglo XX, siendo más notable en los hemisferios Norte y áreas continentales, pronosticándose un incremento estadísticamente significativo, pero sin que posea consistencia espacial (González, Cháidez y Ontiveros, 2008).

La variabilidad climática, tomando en cuenta su origen natural y antrópico, tiene grandes repercusiones sobre el ambiente en todas sus dimensiones: físico-natural, físico-espacial, socio-económico y político-institucional (Cortés, 2010); por lo que es necesario que todas las decisiones que se tomen en tareas de planificación económica, social y ambiental deben contener una componente climática significativa (Mesa, Poveda y Carvajal, 1997).

Según la Primera Comunicación Nacional, MAE (2000), Ecuador es altamente vulnerable a los impactos del Cambio Climático, debido no sólo a su ubicación geográfica, y a su variada topografía, sino a la ocurrencia de éstos fenómenos periódicos que alterna el ambiente. Se espera que el incremento de temperatura, sequías e inundaciones recurrentes, derretimiento de glaciares y variación de los patrones de precipitación, tengan un amplio espectro de impactos en el país (Muñoz, Recalde y Cadena, 2010).

La precipitación es un fenómeno caracterizado por su alta variabilidad espacio-temporal (Chen *et al.*, 2014) La precipitación es responsable de la variabilidad espacio-temporal de los recursos hídricos, y sus cambios tienen impacto en la hidrología y en la disponibilidad del agua (Buttafuoco, Caloiero y Coscarelli, 2011). Información acerca de esta variabilidad es requerida para la mayoría de aplicaciones meteorológicas, hidrológicas y ecológicas (Céleri *et al.*, 2007; Pedersen *et al.*, 2010).

Analizar la variabilidad del clima regional es de mucha importancia, debido a que aquí se puede planificar el manejo de recursos naturales de un país; sin embargo, evaluar la variabilidad climática y los mecanismos que producen los cambios es complejo. Por ellos la forma más fácil de analizar e interpretar el clima promedio de una región es en términos de medias anuales o estacionales de temperatura y/o precipitación (Ayllón, 2003)

El Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) como ente rector de la política hidrometeorológica del Ecuador por su corto presupuesto económico no ha podido desarrollar estudios específicos en las principales ciudades acerca de variabilidad climática, por lo que mediante convenios con instituciones de educación superior ha visto la necesidad de desarrollar conjuntamente estudios meteorológicos (Registro oficial del Ecuador, 2011). Uno de ellos es el convenio vigente ESPOCH-INAMHI, firmando el 02 de junio de 2014, en donde se comprometen las dos instituciones a llevar adelante estudios de investigación en el área hidrometeorológica.

El presente trabajo tiene como objetivo analizar la variabilidad de la precipitación utilizando datos de la estación meteorológica ESPOCH-INAMHI entre 1976-2017 en relación a los niveles de precipitación, con el interés de determinar si ha habido algún cambio a lo largo de los 42 años.

OBJETIVOS

General:

Analizar la variabilidad de la precipitación en el régimen pluviométrico, en la ciudad de Riobamba, durante el periodo 1976-2017.

Específicos:

- Evaluar la confiabilidad de los datos de la serie temporal 1976 -2017 de la precipitación.
- Determinar los índices de extremos climáticos de la precipitación mediante la metodología del software Rclimindex.
- Examinar el cambio del régimen pluviométrico ocurrido en la ciudad de Riobamba en el periodo 1976-2017.

CAPITULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1 Antecedentes

En lo que va del siglo XXI, la humanidad hace frente a un notable aumento en la ocurrencia de eventos hidrometeorológicos extremos. Estos eventos generalmente están relacionados a la variabilidad climática y/o cambio climático (Quintero *et al.*, 2012).

En las cadenas montañosas el conocimiento sobre variabilidad climática es limitado debido a una combinación de escasez de datos (baja densidad de redes de monitoreo) y a la heterogeneidad de la orografía (Céleri *et al.*, 2007). Estudios realizados por Rollenbeck y Bendix (2011) indican que los Andes ecuatorianos muestran una extrema variabilidad en la distribución espacio-temporal de la precipitación sin que exista un solo mecanismo de generación de lluvia, sino la interacción de muchos procesos.

En el país existe poco estudios sobre variabilidad climática. Un estudio que cabe mencionar es el realizado en el Distrito Metropolitano de Quito en el cual sus resultados con referente al estudio de la variabilidad de la precipitación hablan sobre el comportamiento en las tendencias del régimen pluviométrico. (Serrano *et al.*, 2012). Recientemente, el INAMHI (2017) emitió un informe manifestando que en la región interandina la distribución de las lluvias tuvo un comportamiento heterogéneo, es así que mientras hacia la zona norte se registraron valores que superan la normal, hacia la parte sur ocurre la situación contraria es decir valores que no alcanzan la normal lo que genera una variación negativa.

EL CIIFEN (Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno del Niño) en el 2014 realizó el análisis de las tendencias climáticas y los eventos climáticos extremos utilizando series diarias de precipitación y temperatura de 19 estaciones distribuidas a lo largo del Ecuador para el periodo 1965-2010, y con estos datos elaboraron el cálculo de 27 índices climáticos para cada estación utilizando la herramienta RCLimindex, desarrollada en el lenguaje R. Entre sus resultados publicados se resaltan: el aumento de los valores máximos de las temperaturas máximas en las estaciones de la Sierra y la reducción de los valores mínimos de la misma variable, la reducción de la diferencia entre las temperaturas máxima y mínima, el aumento de la intensidad de la lluvia en pocas estaciones del centro de Ecuador y el incremento de las precipitaciones extremas en el centro y sur de la Sierra y en una estación de la Costa (CIIFEN, 2014).

La ciudad de Riobamba ubicada en el callejón interandino, no ha tenido estudios específicos que traten sobre variabilidad climática, con lo cual este trabajo conlleva a que se pueda hacer una investigación, la cual brindara información para futuras investigaciones.

1.2 Marco conceptual

1.2.1 Precipitación

La precipitación se refiere a cualquier forma de agua sólida o líquida que cae de la atmósfera a la superficie terrestre. La lluvia, la llovizna, el granizo y la nieve son catalogados como ejemplos de precipitación. Para su formación se requiere la elevación de una masa de agua en la atmósfera de tal manera que se enfríe y parte de su humedad se condense (Chow *et al.*, 1994) .

La precipitación varía en el espacio y en el tiempo de acuerdo con el patrón general de circulación atmosférica y con factores locales (Chow *et al.*, 1994) . El conocimiento de la distribución y variabilidad espacio-temporal de la precipitación es considerada importante para el planeamiento de los recursos hídricos y para diversos estudios hidrológicos (Villela y Matthus, 1975).

1.2.1.1 Medición

La Organización Meteorológica Mundial (OMM) (2010) señala que la unidad de precipitación es la profundidad lineal, normalmente en milímetros (volumen/área) o en kgm^{-2} (masa/área) para la precipitación líquida. Las cantidades diarias de precipitación deberían leerse con una resolución de 0,2mm y, de ser posible, con una resolución de 0,1mm; las cantidades semanales o mensuales deberían leerse con una resolución de 1mm. En el Ecuador las cantidades de precipitación en todas las temporalidades es medida con una resolución de 1mm (INAMHI, 2011). Las mediciones diarias de la precipitación se sugieren efectuarse a horas fijas comunes para toda la red(o redes) de interés. La precipitación inferior a 0,1mm, es denominada generalmente traza (OMM, 2010).

El aparato que tradicionalmente sirve para medir la precipitación es el pluviómetro, el cual consiste en un cilindro recto, de sección conocida, con un borde agudo horizontal (boca) y un dispositivo para recoger el agua (recolector), entre estos por lo general existe un embudo (Maderoy y Jiménez, 2005).

1.2.2 Temperatura del aire

Para fines meteorológicos la temperatura es medida mediante numerosos medios. La variable más comúnmente medida y utilizada en meteorología es la temperatura del aire (a diversas alturas). Otras variables son la temperatura mínima de la hierba, la del terreno, la del suelo y la temperatura

del agua de mar. La OMM (1992) define la temperatura del aire como “la temperatura leída en un termómetro expuesto al aire, protegido de la radiación solar directa”.

En meteorología se mide casi siempre la temperatura en grados Celsius (o “temperatura Celsius”). La escala de temperaturas generalmente utilizada desde 1990 es la EIT-90, basada en determinados valores de temperatura asignados a ciertos estados de equilibrio reproducibles, y en determinados instrumentos patrón calibrados a esas temperaturas. La EIT se definió de tal manera que la temperatura medida en esta escala coincide con la temperatura termodinámica, y cualquier diferencia está dentro de los márgenes de incertidumbre de las mediciones. Además de los puntos fijos de esta escala, existen también otros puntos de referencia secundarios. Las temperaturas de interés meteorológico se obtienen mediante la interpolación entre los puntos fijos (OMM, 2010).

1.2.3 Serie temporal

La serie temporal es una sucesión de observaciones de una variable tomadas en el transcurso del tiempo, de manera que los valores que toma la variable aparecen ordenados y reflejando el comportamiento de una variable en el tiempo. Para estudios meteorológicos idealmente se supone que las observaciones se toman en intervalos regulares de tiempo y que no faltan observaciones intermedias (De la Fuente, n.d.).

1.2.4 Cambio climático

Crowley Y North (1988) definen al cambio climático como “una modificación del clima, duradera y significativa con respecto a un historial climático, tanto a escala regional como global y sobre variados parámetros meteorológicos. Sus causas son diversas y pueden ser naturales: procesos oceánicos, variaciones en la radiación solar recibida por la Tierra, la tectónica de placas y erupciones volcánicas, entre otras”. Sin embargo, desde 1987 este término ha sido adoptado en La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, para referirse a aquel cambio producto de la actividad humana a través de su alteración sobre la composición química atmosférica, debido a la mayor presencia de gases de efecto invernadero en todo el mundo (IPCC, 2007).

1.2.5 Variabilidad climática

A la variabilidad climática se le define como a aquellos cambios sobre el clima que dependen de condiciones atmosféricas extremas que exceden en mucho a los promedios normales. Los fenómenos producidos en estos contrastes pueden ser frentes fríos muy organizados, células estacionarias secas, huracanes, perturbaciones tropicales y células con una humedad

desproporcionada. Si tomamos el caso de Ecuador se relaciona la variabilidad climática con la Zona de Convergencia Intertropical, el Fenómeno del Niño y la Niña y otros fenómenos recientemente estudiados como la Oscilación Decadal del Pacífico y el Fenómeno Modoki (Serrano, 2012).

1.2.5.1 Fenómeno del Niño

El fenómeno el niño corresponde a un evento climático natural que se desarrolla en el océano pacífico ecuatorial central, manifestándose principalmente por un aumento de la temperatura superficial del mar y una disminución de los vientos alisios en el lado este del océano. Estas condiciones anómalas generan fuertes precipitaciones y cambios notables en el clima y las pesquerías, tanto en los países ribereños del pacífico sudoriental, como en otras partes del mundo (Maturana, 1997). Es declarado un “Fenómeno del Niño” cuando existe un incremento de la temperatura superficial promedio del mar en 0,5 °C, o más, por al menos 5 meses consecutivos. (Hijar, 2016).

Según la Secretaria Nacional de Gestión de Riesgos (n.d.) en el Ecuador este fenómeno ha dejado grandes estragos, especialmente en la región costanera, siendo los de más alto impacto en los periodos 1982-1983 y 1997-1998, que cobró decenas de vidas y destruyó gran parte de los cultivos, así como de la infraestructura vial, con millonarias pérdidas económicas.

1.2.6 Provincia de Chimborazo

La provincia de Chimborazo ubicada en la región andina del Ecuador se caracteriza por su geografía irregular, abundante área de vegetación, con elevaciones desde 160 msnm hasta 6310 msnm. Debido a su complejidad atmosférica presenta diversidad de climas y temporadas de alta pluviosidad que alteran la propagación de la energía electromagnética (Ayala, Recalde y Sanaguano, 2014). Según Yépez (2012) este eslabón climático se caracteriza por tener lluvias abundantes, granizadas frecuentes y ambiente nublado.

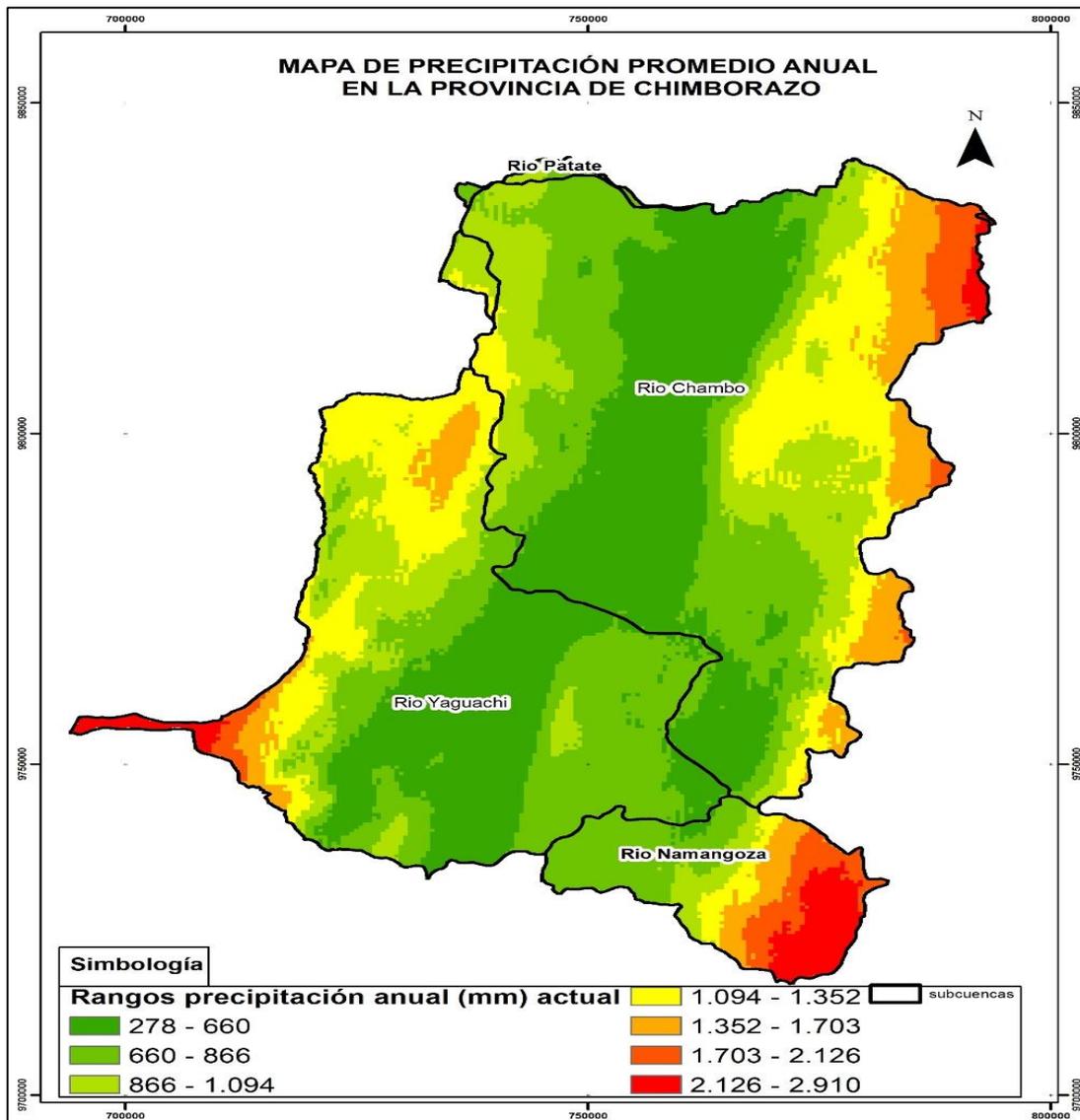


Figura 1-1: Mapa de la precipitación promedio anual en la provincia de Chimborazo

Fuente: (Calderón, 2017)

En la figura 1-1 se muestra la precipitación media anual en la provincia de Chimborazo en el periodo 1971-2000.

El INAMHI en la provincia de Chimborazo cuenta con un número escaso de estaciones convencionales y unas pocas estaciones automáticas con transmisión en tiempo real, enviando los reportes diariamente por fax o vía telefónica (Ayala, Recalde y Sanaguano, 2014).

1.2.7 Ciudad de Riobamba

La ciudad de Riobamba se ubica en la cordillera de los Andes, específicamente en la zona central del Ecuador. Se presenta con una topografía irregular y alturas entre 2600 y 4447 msnm. Su principal componente hidrológico es el río Chambo, que tiene como afluentes a los ríos Daldal, Timbul y Uldán. Reportes del Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE) (2014) indican que

el cantón Riobamba presenta un clima generalmente frío, con una estación húmeda y otra seca, una temperatura media de 14 °C y una pluviosidad de 423 mm por año.

1.2.7.1 Subcuenta del río Chambo

La subcuenta del río Chambo es un área geográfica por donde transita el agua, forma parte de la cuenca alta del río Pastaza, su principal afluente es el río Chambo, cuenta con un área de aproximadamente 3589.55 Km, un perímetro de 339.38 Km. Esta subcuenta se encuentra ubicada en su totalidad dentro de la provincia de Chimborazo (Naranjo, 2013).

Dentro de esta subcuenta se ubica la microcuenca del río Chibunga , la cual está formada por la unión del río Chimborazo y Sicalpa tomando el nombre de río Chibunga en el sector de la fábrica Cemento Chimborazo, el recorrido de su río atraviesa la ciudad de Riobamba de noroeste a sureste, desembocado en el río Chambo (Garcés, 2010).

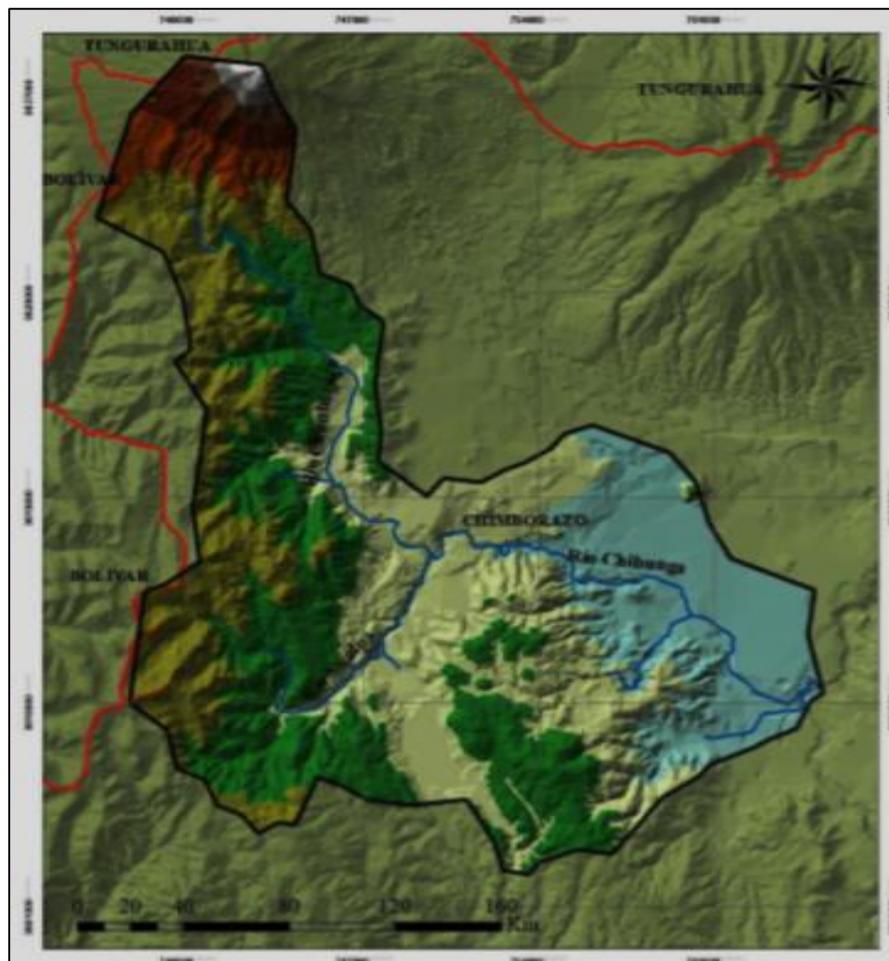


Figura 2-1: Ubicación geográfica de la microcuenca del Chibunga
Fuente: (Haro, 2018)

1.2.7.2 Estaciones meteorológicas

Una estación meteorológica es una instalación utilizada para medir y registrar de forma regular los valores de diferentes variables meteorológicas como son la precipitación, humedad, temperatura, etc. Estos datos son utilizados para las predicciones meteorológicas, como datos de entrada en los modelos numéricos para las predicciones del tiempo, para la elaboración de los mapas climáticos; en si para determinar el tiempo y el clima de un lugar en específico (Orts y Poquet, 2017).

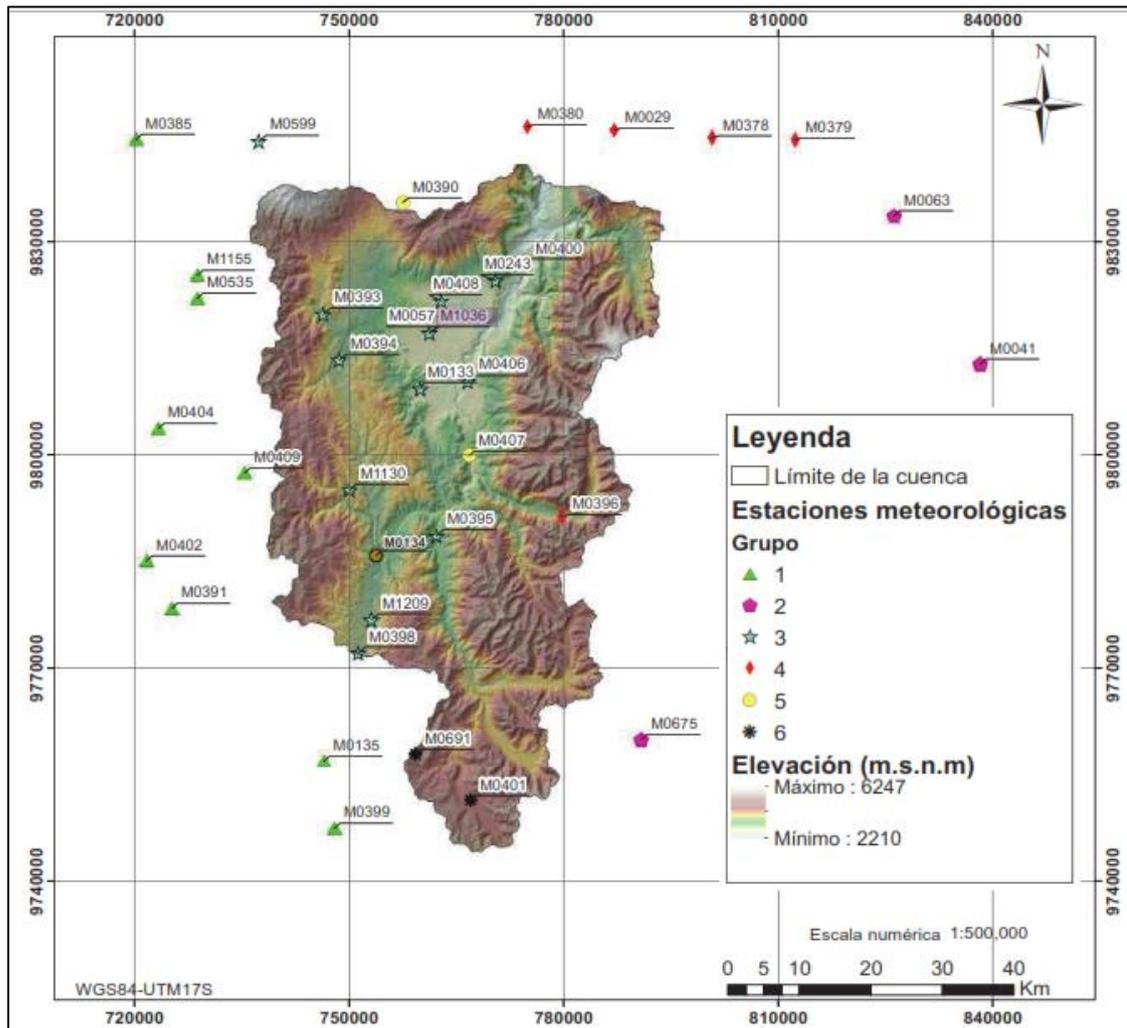


Figura 3-1: Distribución espacial de las estaciones meteorológicas en la subcuenca Chambo

Fuente: (INAMHI, n.d.)

En la figura 3-1 se presenta el código de las estaciones meteorológicas presentes en la subcuenca del río Chambo. Aquí destaca la estación meteorológica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH) con código M1036, que se encuentra dentro de la ciudad de Riobamba.

1.2.7.3 Coordenadas de la estación de estudio

La estación meteorológica de la ESPOCH se encuentra ubicada en la Facultad de Recursos Naturales de la Institución. Se encuentra en las siguientes coordenadas geográficas Longitud: -78.650000, latitud -1.650000 Altura 2740m (CEPRA-X, 2016)



Figura 4-1. Vista espacial de la estación meteorológica de la ESPOCH

Fuente: (GOOGLE EARTH, 2019)



Figura 5-1: Fotografía de la estación meteorológica de la ESPOCH

Fuente: (ESPOCH, n.d.)

1.2.8 R-Climdex

ClimDex es un programa basado en Microsoft Excel con lenguaje de programación R que proporciona un paquete computacional fácil de usar para el cálculo de Índices de extremos climáticos para monitorear y detectar el cambio climático. Fue desarrollado por Byron Gleason del National Climate Data Centre (NCDC) de NOAA, y ha sido usado en talleres CCI/CLIVAR sobre índices climáticos desde el 2001 (Zhang y Yang, 2004).

RClimDex en su versión 1.0 está diseñado para proporcionar una interfase amigable para calcular índices de extremos climáticos. Calcula todos los 27 índices básicos recomendados por el Equipo de Expertos de CCI/CLIVAR para “Climate Change Detection Monitoring and Índices” así como también otros índices de temperatura y precipitación con límites definidos por el usuario. Uno de los principales objetivos de construir índices de extremos climáticos es para usarlos para estudios de monitoreo y detección de cambios climáticos (CRC-OSA, 2017)

1.2.9 Homogeneización de datos

La homogeneización de datos consiste en verificar la validez de la información, en donde se eliminan datos que se alejen de la realidad, se corrige errores detectados o se resalta valores anormales que pueden ser considerados posible (Le Goulven, 1988)

Generalmente la heterogeneidad de datos se da debido a cambios en la ubicación del equipo de medición, cambios en los sistemas de observación o cambios producidos alrededor de las estaciones en estudio (Hernández, *et al.*, 2012)

Es considerada una serie homogénea cuando la variable responde exclusivamente a causas climáticas. El IPCC dispone que se debe tener series completas y homogéneas para permitir el análisis de variabilidad climática, por lo que se han desarrollado varias técnicas (Hernández, *et al.*, 2012).

1.2.9.1 RHTEST V4

Es un software desarrollado por la ETCCDI (Expert Team on Climate Detection and Indices), el cual permite la detección de changepoints (anomalías) y el ajuste de series de datos climatológicos mediante una interfaz gráfica (Wang y Feng, 2013).

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1 Hipótesis y especificación de las variables

2.1.1 Hipótesis

Existe una alta variabilidad de la precipitación en el régimen pluviométrico de la ciudad de Riobamba en el periodo 1976-2017.

2.1.2 Variables

2.1.2.1 Variable independiente

Régimen pluviométrico (precipitación)

2.1.2.2 Variable dependiente

Variabilidad de la precipitación

2.2 Tipo y diseño de la investigación

La presente investigación es de carácter descriptiva-no experimental. Descriptiva de carácter cuantitativo porque se trabaja con datos numéricos obtenidos de la Estación meteorológica de la ESPOCH, y no experimental debido a que se toma datos ya establecidos para el análisis y determinación de la variabilidad de la precipitación.

2.3 Recopilación de información

En la Ciudad de Riobamba específicamente en la ESPOCH se encuentran dos tipos de estaciones meteorológicas. Una estación meteorológica automática, es decir, con equipos que no requieren de la presencia de un observador para realizar la medición instrumental, y una convencional que requiere de técnicos para la toma de información. Cabe recalcar que también se ubica otra estación meteorológica perteneciente a la Dirección de Aviación Civil (DAC).

2.3.1 Selección del Área de Estudio

Para esta investigación al ser un proyecto interinstitucional realizado en la ESPOCH, se definió como Área de Estudio a la microcuenca del río Chibunga debido a que dentro de esta zona se encuentra la Ciudad de Riobamba.

La estación meteorológica considerada para el estudio fue la estación meteorológica convencional de la ESPOCH la cual posee registros meteorológicos del año 1976 al 2017. No fue tomada en cuenta la estación meteorológica de la DAC debido a que no poseen suficientes registros en el periodo de evaluación 1976-2017.

2.3.2 Selección de índices climáticos

En estudios realizados en diferentes partes del planeta como son América del Norte, Asia, Europa y Australia se han utilizado 10 índices (incluyendo días de congelamiento, de nieve, precipitación y temperatura) (Frich *et al.*, 2002), contando además de 6 índices de precipitación y temperatura (Kiktev *et al.*, 2003) A nivel local en el litoral ecuatoriano se ha trabajado con 11 índices para parámetros tanto de precipitación como de temperatura (Muñoz, Recalde y Cadena, 2010).

La selección de índices dependió de nuestro objeto de estudio, por lo que se tomó en cuenta índices de precipitación. La tabla 1-2 presentada a continuación muestra los índices utilizados en este estudio.

Tabla 1-2 Índices de extremos climáticos para la precipitación

Índice	Significado
CDD	Mayor número de días secos consecutivos en un año
CWD	Mayor número de días húmedos consecutivos en un año
PRCPTOT	Precipitación total al año
R10mm	Número de días con precipitación intensa >10mm
R20mm	Número de días con precipitación intensa >20mm
R95P	Precipitación anual total en que RR>95 percentil
R99P	Precipitación anual total en que RR>99 percentil
RX1day	Máximo mensual de precipitación en 1 día
RX5day	Máximo mensual de precipitación en 5 días consecutivos
SDII	Intensidad de Lluvia (Precipitación anual total/ número de días húmedos) PRCP>1mm

Realizado por: Alex Morocho. 2019

Fuente: Zhang y Yang, 2004

2.4 Procesamiento de datos

Los datos de precipitación diaria (mm) fueron facilitados por los técnicos de la Estación Meteorológica convencional de la ESPOCH, tomándose datos en un rango de años de 1976 a 2017, es decir 42 años.

Como se muestra en la figura 1-2, los datos se encontraron en una base de datos de Excel, en series temporales de horas y días, transcritos de las hojas de registro que realizaban los técnicos de la estación.

E. S. P. O. CH.					E. S. P. O. CH.				
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES.					FACULTAD DE RECURSOS NATURALES.				
ESTACIÓN METEOROLÓGICA.					ESTACIÓN METEOROLÓGICA.				
PRECIPITACIÓN ATMOSFÉRICA.					PRECIPITACIÓN ATMOSFÉRICA.				
AÑO:	1.976.	MES: Enero.			AÑO:	1.976.	MES: Febrero.		
Ds./Lee.	07:00	13:00	19:00	SUMA.	Ds./Lee.	07:00	13:00	19:00	SUMA.
1	0.0	0.0	0.0	0.0	1	0.0	0.0	2.3	2.3
2	0.0	0.0	0.0	0.0	2	5.9		1.9	7.8
3	0.0	0.0	0.0	0.0	3	0.0	0.0	0.0	0.0
4	0.0	0.0	0.0	0.0	4			0.6	0.6
5	0.0	0.0	0.0	0.0	5	0.1			0.1
6	0.6	0.0	0.0	0.6	6	1.6		1.8	3.4
7	0.0	0.0	0.0	0.0	7	5.4			5.4
8	0.3	0.0	0.0	0.3	8	6.9			6.9
9	0.5	0.0	0.0	0.5	9				
10	0.0	0.0	0.0	0.0	10	0.0	0.0	0.0	0.0
11	0.0	0.0	0.0	0.0	11				
12	0.0	0.0	0.0	0.0	12	1.2	0.6	0.2	2.0
13	0.2	0.5	0.0	0.7	13				
14	0.6	0.0	0.0	0.6	14	0.0	0.0	0.0	0.0
1.976.	15	0.2	T.T	0.0	15				
	16			0.0	16	0.0	0.0	0.0	0.0
	17	1.2	0.0	0.0	17				
	18	0.4	0.0	0.0	18	0.0	0.0	0.0	0.0
	19	0.0	0.0	0.0	19				
	20	T.T	0.0	0.0	20	0.0	0.1	0.5	0.6
	21	0.0	0.0	0.0	21	4.1	3.7	6.3	14.1
	22	1.1	0.4	0.0	22	1.9	1.7	0.0	3.6

Figura 1-2: Series temporales de la Estación Meteorología ESPOCH.

Fuente: Realizado por Alex Morocho. 2019

Se encontraron ciertos periodos en los que no existían datos diarios, aproximadamente se encontró que de los 15340 datos de precipitación que debiera estar en el periodo de tiempo 1976-2017 existió un 5% de datos faltantes.

Para completar los datos faltantes se obtuvo los registros tomados por la estación meteorológica del DAC - Riobamba (Dirección de Aviación civil)

No se utilizó ningún método estadístico para el relleno de datos debido a que la mayoría de métodos requieren de datos de dos o más estaciones meteorológicas para su cálculo o a su vez el análisis de más variables meteorológicas. En nuestro caso el estudio se hizo con la estación meteorológica de la ESPOCH.

2.4.1 Control de Calidad de Datos

Para la validación de datos se hizo la comparación de los datos de los registros con los datos transcritos en formato Excel, identificándose algunas fallas de transcripción por lo que se procedió a corregir.

Igualmente fueron tomados los datos de temperatura máxima y mínima, debido a que RCLimindex requiere de valores tanto de precipitación y temperatura para su funcionamiento.

2.4.1.1 Control de Calidad con RCLimindex

Parte del control de calidad se realizó con el programa RCLimindex, siendo este un prerequisite para el cálculo de los índices.

El CC (control de calidad) de RCLimDex desarrolla el siguiente procedimiento: 1) Reemplaza todos los datos faltantes (codificados como -99.9) en un formato interno que reconoce R (i.e. NA, no asociadas a señales climáticas reales), y 2) reemplaza todos los valores no razonables por NA. Estos valores no razonables pueden ser: cantidades de precipitación diaria menores que cero y temperatura máxima diaria menor que temperatura mínima diaria (Zhang y Yang, 2004). Adicionalmente, CC también identifica valores extremos (“outliers”) en temperaturas diarias máximas y mínimas. Los valores extremos son valores diarios que se encuentran fuera de una región definida por el usuario. Esta región se define como n veces la desviación estándar del valor del día, esto es, $(media - n*std, media + n*std)$. Donde std representa la desviación estándar para el día y n es una entrada del usuario (Santos, 2004)

El archivo de datos cargados para el control de calidad fue creado en el formato “Precipitación epoch.txt”. Una ventana apareció una vez que los datos para la estación fueron cargados de forma exitosa. Los valores no razonables fueron identificados automáticamente y posteriormente revisados.

Una vez completado el CC una ventana apareció indicando el proceso exitoso. Al mismo tiempo, cuatro archivos Excel, en formato “.csv” fueron creados en un subdirectorío llamado *log*. Los primeros dos archivos contuvieron información sobre valores no razonables para temperatura y precipitación. El tercer archivo marcó todos los valores extremos posibles en temperatura diaria junto con las fechas en que aquellos valores ocurrieron. El último archivo contuvo los datos que pasaron el control de calidad.

Para una fácil visualización, 4 archivos pdf que contienen gráficos de las series de tiempo (valores faltantes graficados como puntos rojos) de precipitación diaria, y temperaturas diarias máximas y mínimas también fueron guardados en el subdirectorío *log*.

2.4.1.2 Homogeneización de datos

La homogeneización se realizó con el software RHtest V4, El cual se basó en dos tipos de pruebas:

La prueba PMT (Penalized Maximal t test), que es un algoritmo de prueba recursiva. Que toma en cuenta la distribución desigual de la tasa de falsas alarmas o falsos positivos, probando así que la serie probada tiene una tendencia lineal a lo largo de todo el periodo de registro(Wang, 2008)

La prueba PMF (Penalized Maxima f test) utilizada para los cambios negativos en la serie de tiempo sin cambio de tendencia, está garantiza que las tasas de falsas alarmas se encuentren cerca del nivel nominal y se pueda probar todos los puntos (Wang, 2008)

Estas pruebas fueron diseñadas para las series temporales independiente e idénticamente distribuidas de errores gaussianos. (Wang, 2008)

La homogeneización de datos de la estación meteorológica inicio con la programación en el software R de la carpeta de directorio y la función pre-programada de RHtests V4. Se abrió la interfaz pre-programada y se procedió a subir el documento en el que se encuentran los datos de la estación meteorológica. Al final se arrojó varios archivos en formato txt y pdf con información de la homogeneización.

El software nos indica que si no hay changepoints significativos, la serie de tiempo probada puede ser declarada homogénea, sin la necesidad de hacer más pruebas.

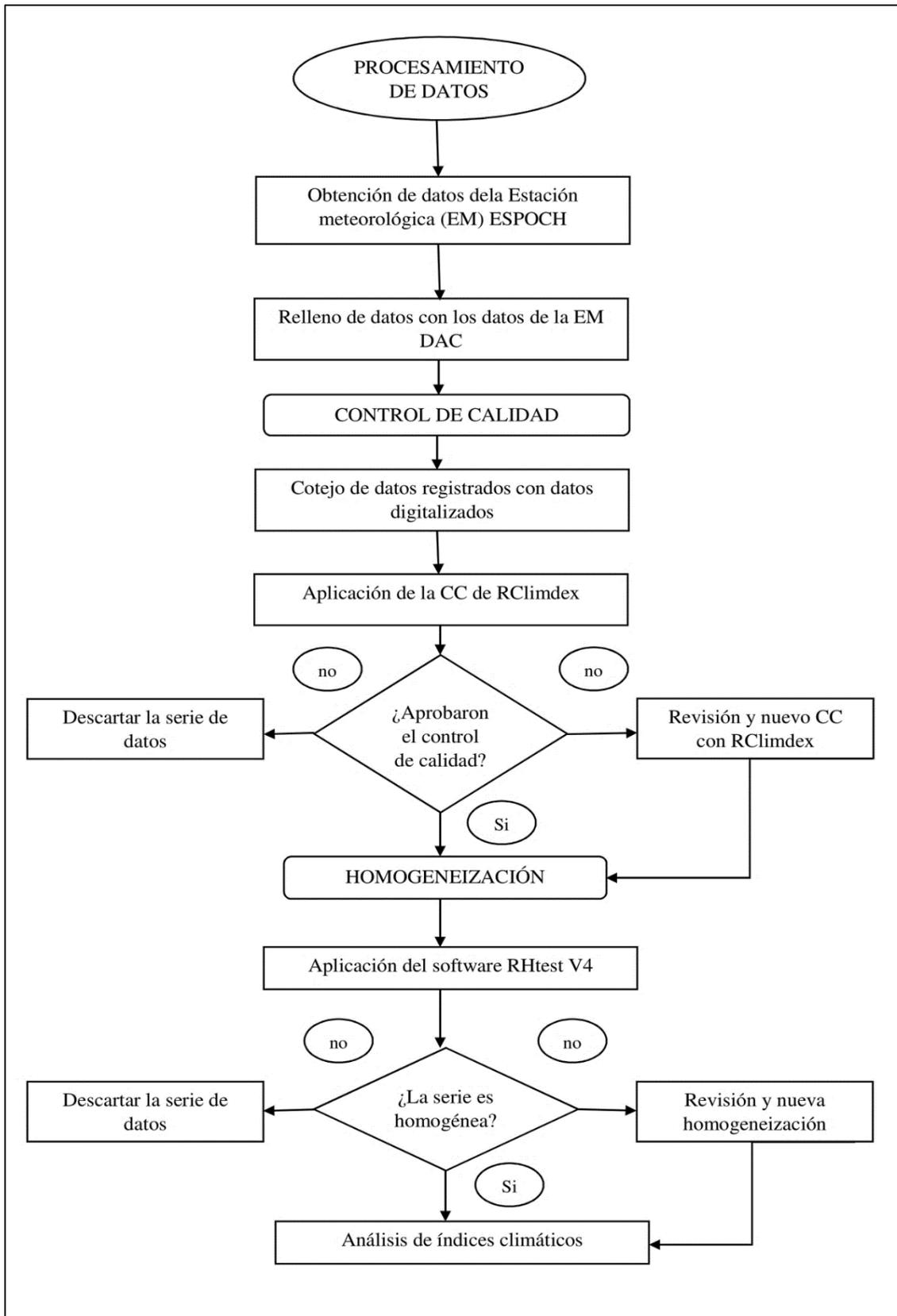


Figura 2-2: Procesamiento de la serie de datos de la Estación Meteorológica ESPOCH.
 Fuente: Realizado por Alex Morocho. 2019

2.5 Ejecución del modelo RClimdex

2.5.1 Preparación de información

Una vez terminado el control de calidad se creó un archivo en formato de tipo “txt” con los datos meteorológicos necesarios para RClimdex. Como se muestra en la figura 5-2 estos datos fueron colocados en 6 columnas con la siguiente secuencia: Año, Mes, Día, PRCP (precipitación), TMAX (temperatura máxima), TMIN (temperatura mínima).

1986	3	29	0	14.4	-99.9
1986	3	30	6.4	-99.9	-99.9
1986	3	31	0	13.7	-99.9
1986	4	1	0	19.9	7
1986	4	2	0	22.6	6
1986	4	3	0	22.1	8.3
1986	4	4	2.8	21.8	10.5
1986	4	5	0	21.9	10
1986	4	6	3.5	20.9	9
1986	4	7	20.1	19	11
1986	4	8	10.5	17.2	9.8
1986	4	9	0.8	19.9	9.4
1986	4	10	8.7	19.3	9.4
1986	4	11	1	18.7	10
1986	4	12	0.1	17.8	8.9
1986	4	13	0	18.8	9.6
1986	4	14	0	19.7	7.3
1986	4	15	2.8	19.8	10.5

Figura 3-2: Formato de ingreso de datos en RClimdex.

Fuente: Realizado por Alex Morocho. 2019

2.5.2 Interfaz gráfica

Luego de preparar toda la información en el formato compatible RClimdex, se procedió a ejecutar la herramienta y cargar el archivo “Precipitación Epoch.txt” en el programa. El manejo del software se presentó sencillo sin que existieran errores en la escritura de los datos del archivo.

2.5.3 Cálculo de índices de precipitación

El cálculo de índices se realizó luego de cargar el archivo con los datos meteorológicos. RClimdex puede calcular hasta 27 índices de extremos climáticos relacionados a la temperatura y precipitación; sin embargo, solo se calcularon los índices correspondientes a precipitación.

La fórmula de cálculo de los índices es la siguiente (ETCCDI, n.d):

- CDD (Mayor número de días consecutivos secos)

Sea RR_{ij} la cantidad diaria de precipitación en el día i del año j . El índice consiste en la mayor cantidad de días consecutivos, en donde:

$$RR_{ij} < 1mm$$

- CWD (Mayor número de días húmedos consecutivos en un año)

Sea RR_{ij} la cantidad de precipitación diaria en el día i en el período j . El índice consiste en el mayor número de días consecutivos donde:

$$RR_{ij} \geq 1mm$$

- PRCPTOT (Precipitación total al año)

Sea RR_{ij} la cantidad diaria de precipitación en el día i del año j , e I es el número total de días del año j . El índice se calcula como:

$$PRCPTOT_j = \sum_{i=1}^I RR_{ij}$$

- R10mm (Número de días con precipitación intensa >10mm)

Sea RR_{ij} la cantidad de precipitación diaria en el día i en el período j . El índice consiste en el número de días donde:

$$RR_{ij} \geq 10mm$$

- R20mm (Número de días con precipitación intensa >20mm)

Sea RR_{ij} la cantidad de precipitación diaria en el día i en el período j . El índice consiste en el número de días donde:

$$RR_{ij} \geq 20mm$$

- R95P (Número de días muy húmedos > al percentil 95)

Sea RR_{wj} la cantidad de precipitación diaria en un día húmedo w ($RR \geq 1,0 mm$) en el período i y sea $RR_{wn}95$ el percentil 95^{vo} de precipitación en días húmedos en el período 1976-2017. Si W representa el número de días húmedos en el período, entonces:

$$R95P_j = \sum_{w=1}^W RR_{wj} \text{ en donde } RR_{wj} > RR_{wn}95$$

- R99P (Número de días muy húmedos > al percentil 99)

Sea RR_{wj} la cantidad de precipitación diaria en un día húmedo w ($RR \geq 1,0 mm$) en el período i y sea $RR_{wn}99$ el percentil 99^{vo} de precipitación en días húmedos en el período 1976-2017. Si W representa el número de días húmedos en el período, entonces:

$$R99P_j = \sum_{w=1}^W RR_{wj} \text{ en donde } RR_{wj} > RR_{wn}99$$

- RX1day (Máximo mensual de precipitación en 1 día)

Sea RR_{ij} la cantidad diaria de precipitación en el día i del año j . Entonces los valores máximos de 1 día para el periodo j son:

$$Rx1day_j = \max (RR_{ij})$$

- RX5day (Máximo mensual de precipitación en 5 días consecutivos)

Sea RR_{kj} la cantidad diaria de precipitación en el intervalo de 5 días que termina en el día k del año j . Entonces los valores máximos de 5 días consecutivos para el periodo j son:

$$Rx5day_j = \max (RR_{kj})$$

- SDII (Intensidad de precipitación simple)

Sea RR_{wj} la cantidad de precipitación diaria en días húmedos, w ($RR \geq 1 \text{ mm}$) en el período j . Si W representa el número de días húmedos en j , entonces:

$$SDII_j = \frac{\sum_{w=1}^W RR_{wj}}{W}$$

2.5.4 Salida de Datos

Una vez terminado el proceso de cálculo, la serie de índices resultantes fueron almacenados en un subdirectorio titulado “índices” en formato Excel. Para propósitos de visualización también se graficaron series anuales, junto con tendencias calculadas por regresión lineal usando el método de ajuste por mínimos cuadrados a una recta (representadas por una línea sólida) y regresión lineal con ponderamientos locales para determinar tendencias parciales (representados por una línea punteada) (Zhang y Yang, 2004). La estadística del ajuste de curvas se muestra también en los gráficos. Estos gráficos se guardaron en un subdirectorio llamado plots en formato JPEG.

2.5.4.1 Graficación y análisis en mapas de tendencia

Luego de terminada la generación de archivos correspondientes a cada uno de los índices climáticos, fue necesario reconocer tendencias a partir de las gráficas. Estas tendencias fueron las que interesaron de sobremanera para la toma de decisiones.

Para la detección de tendencias es usual el empleo de regresiones lineales, las que por su simplicidad permiten reportar si un índice en particular presenta incrementos, decrementos o no presenta cambios significativos a lo largo del tiempo. El parámetro clave es, pues, la pendiente de la regresión lineal ajustada, que son representadas en los mapas de tendencias (Muñoz, 2013).

Sin embargo, hay que recalcar que dado un conjunto de puntos es posible llevar a cabo una regresión lineal sin que necesariamente ésta posea una significancia estadística que garantice que efectivamente la tendencia reconocida no sea causada por el azar. Por esta razón es importante el cálculo del nivel de significancia, ya que provee una garantía al analista de que tan confiable es la tendencia detectada (Muñoz, 2013).

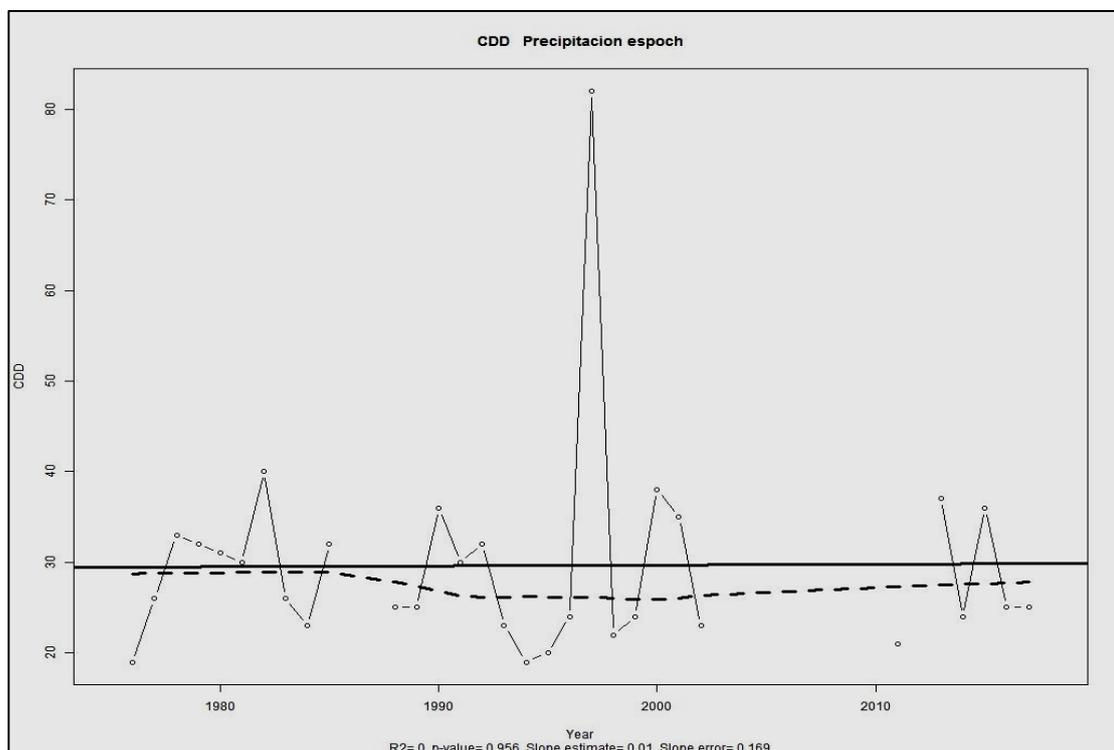
Los niveles de significancia dados por medio del parámetro *p-value*, están asociados a estadísticos de distribución, siendo el más frecuente y que es utilizado por RCLimindex: el estadístico *t-student*. (Brownlee, 1965; Pinilla y Pinzon, 2012)). Es por ello que es más común referirse más al *t-valor*, el cual en conjunto con el número de grados de libertad, define el nivel de significancia estadística (Muñoz, 2013).

Lo que se busca es que el nivel de significancia o nivel de confianza en cada uno de los análisis de tendencias sea mayor que un cierto umbral de confianza, que sea escogido por el analista.

Varios autores entre los que destaca Serrano et al. (2012) han tomado niveles de significancia de hasta $\alpha=0.2$ en sus estudios de variabilidad climática. En el presente estudio se escogió un valor crítico de nivel de significancia de $\alpha=0.2$ o nivel de confianza de 0.80 (80%) como mínimo para confiar en que la tendencia no puede asociarse al azar, sino a una señal real. Entonces si el p-value calculado por RClimdex es menor a 0.2 ($p\text{-value}<0.2$), el índice de extremo climático es aceptado como estadísticamente significativo, caso contrario se descarta.

Muñoz (2013) señala que es necesario destacar que el hecho de que si un determinado índice no alcanza el mínimo estipulado de nivel de significancia, no implica en ningún modo que los valores reportados por un índice determinado no coincida con lo observado. Lo que implica es que el analista no puede confiar, por sus propios cánones establecidos, en que la tendencia detectada sea estadísticamente significativa, y por ende una hipótesis nula deberá ser o no rechazada.

En la gráfica 1-2 se puede observar una de las gráficas generadas por RClimdex, indicando la línea voluminosa de color negro la tendencia del índice calculado, además la estadística de ajuste de la curva (p-value, slope estimate, slope error).



Gráfica 1-2: Gráfica del Índice climático CDD

Fuente: Realizado por Alex Morocho. 2019

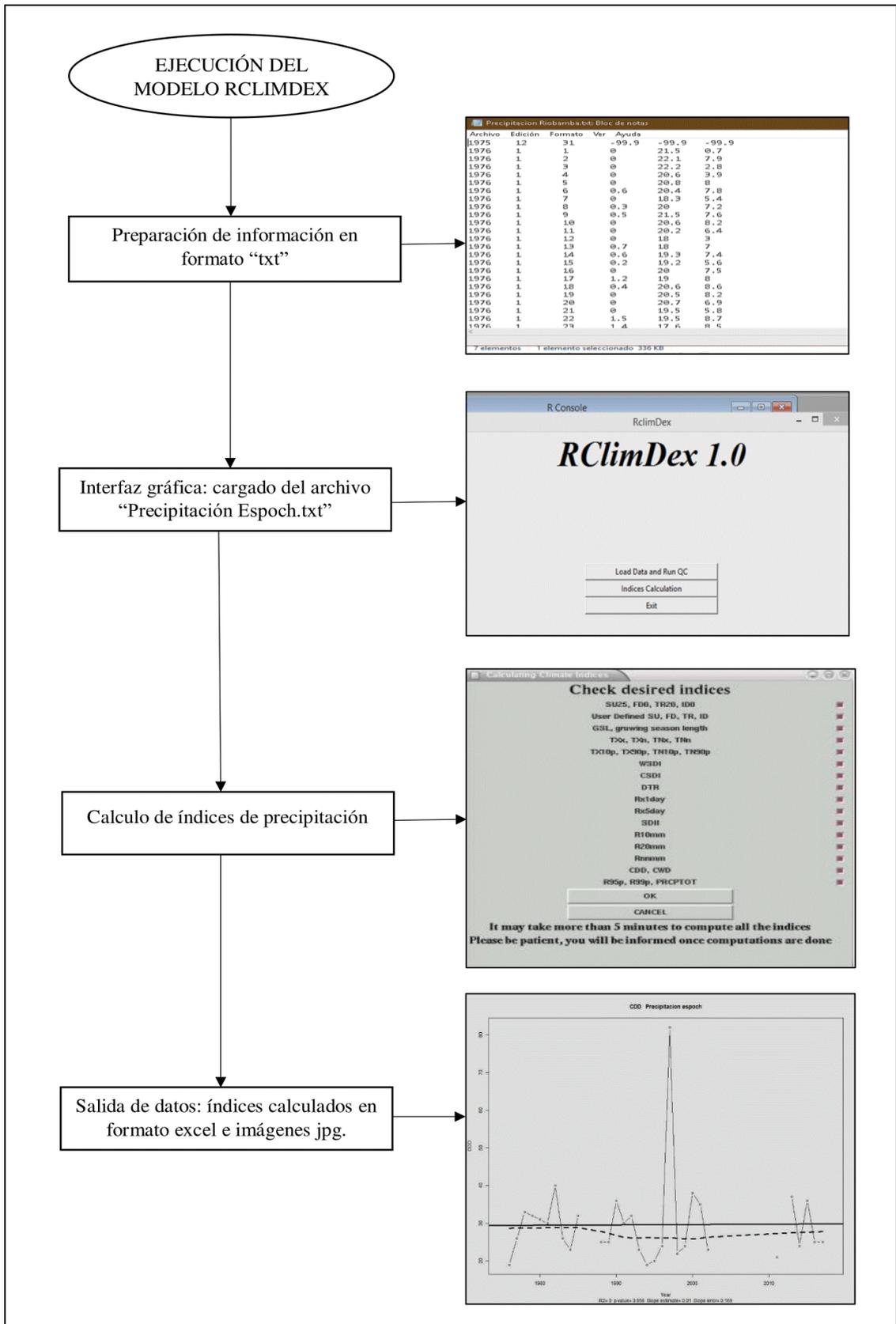


Figura 4-2: Ejecución del programa RCLIMDEX para el cálculo de índices climáticos
 Fuente: Realizado por Alex Morocho. 2019

CAPITULO III

3. MARCO DE RESULTADOS, DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1 Análisis de resultados

3.1.1 Confiabilidad de la serie temporal

Al momento de cotejar los datos de los registros con los datos transcritos en formato Excel se observó algunas fallas de transcripción por lo que se procedió a corregir; mientras que la completación de datos con la estación meteorológica DAC permitió reducir a un 3.3% de datos faltantes, es decir 512 datos faltantes.

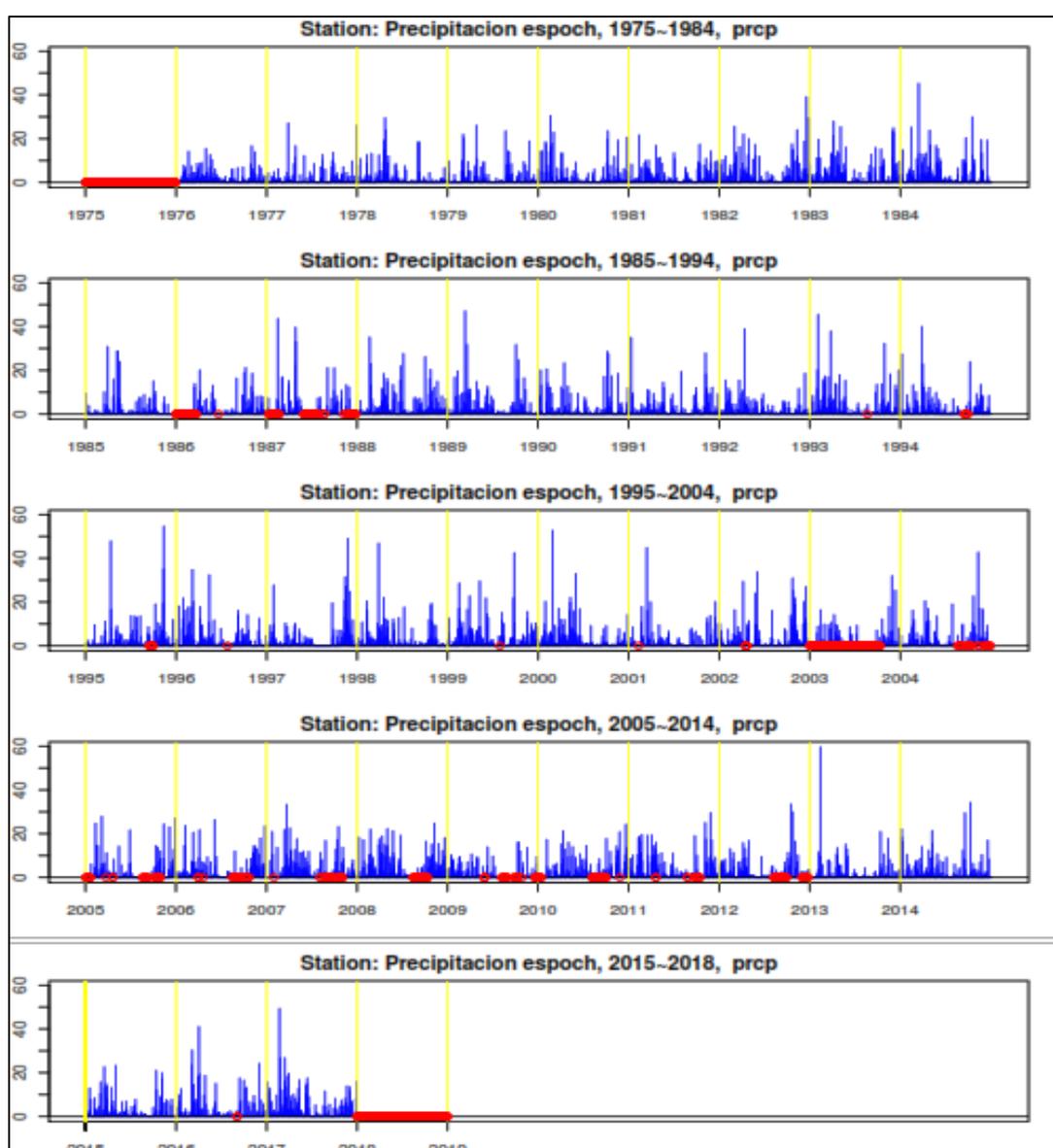


Figura 1-3: Gráficas de identificación de datos faltantes.

Fuente: Realizado por Alex Morocho. 2019

El control de calidad realizado por RCLimex indicó que no hubo la presencia de datos inconsistentes de precipitación, pero si identifico los datos faltantes en cada año.

La figura 1-3 muestra las gráficas en las cuales se identifican los datos faltantes (líneas rojas) por décadas, igualmente los niveles de precipitación (líneas azules) en los diferentes periodos de tiempo.

En el caso de la homogeneización el archivo generado por el software RHtest V4 “*Precipitacion epoch_LogprcpMLY_1Cs.txt*” arrojó el siguiente resultado: *0 changepoints in Series*.

Esto quiere decir que se detectaron 0 changepoints por lo que puede ser utilizada para calcular los índices de extremos climáticos.

También se generó gráficas en el archivo “*Precipitacion epoch_LogprcpMLY_U.pdf*”, de los cuales el más importante fue el de la figura 3-3: eje de las x indica años de la serie temporal, eje de las y precipitación en mm; las líneas dentro de la gráfica representa la precipitación mensual a lo largo del tiempo (1976-2017) mientras que la línea roja representa la regresión ajustada sin cambios en el tiempo (serie homogénea).

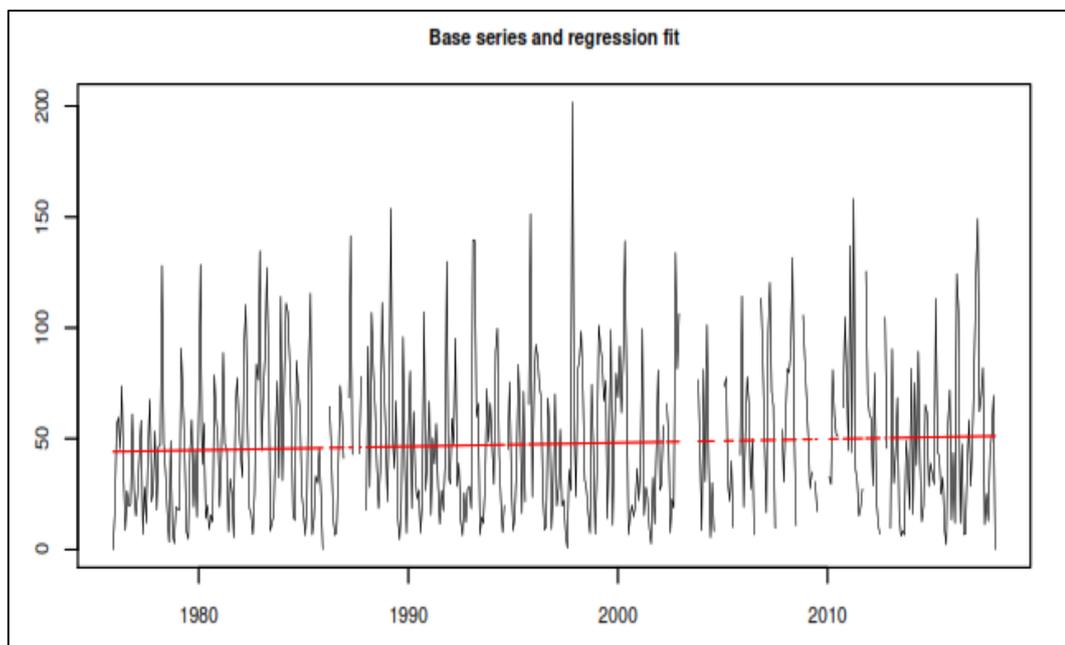


Figura 3-2 Series temporales homogeneizadas.

Fuente: Realizado por Alex Morocho. 2019

3.1.2 Índices de extremos climáticos

La hipótesis pretende demostrar que existe una alta variabilidad en el comportamiento de la precipitación en los últimos 42 años. Se encontraron índices que demostraban en efecto, signos de variabilidad en las precipitaciones a lo largo del periodo 1976-2017.

Se reportaron diferencias en cada índice calculado, como se indica en la tabla 1-3

Tabla 1-3: Índices climáticos de precipitación para la Estación ESPOCH

Índice	Significado	Slope	P -value	Estadísticamente significativo
CDD	Mayor número de días secos consecutivos en un año	+0.010	0.956	NO
CWD	Mayor número de días húmedos consecutivos en un año	+0.015	0.672	NO
PRCPTOT	Precipitación total al año	+1.926	0.289	NO
R10MM	Número de días con precipitación intensa >10mm	+0.106	0.168	SI
R20MM	Número de días con precipitación intensa >20mm	+0.010	0.694	NO
R95P	Precipitación anual total en que RR>95 percentil	+0.774	0.313	NO
R99P	Precipitación anual total en que RR>99 percentil	+0.710	0.19	SI
RX1day	Máximo anual de precipitación en 1 día	+0.428	0.005	SI
RX5day	Máximo anual de precipitación en 5 días consecutivos	+0.462	0.018	SI
SDII	Intensidad de Lluvia (Precipitación anual total/ número de días húmedos) PRCP>1mm	+0.023	0.031	SI

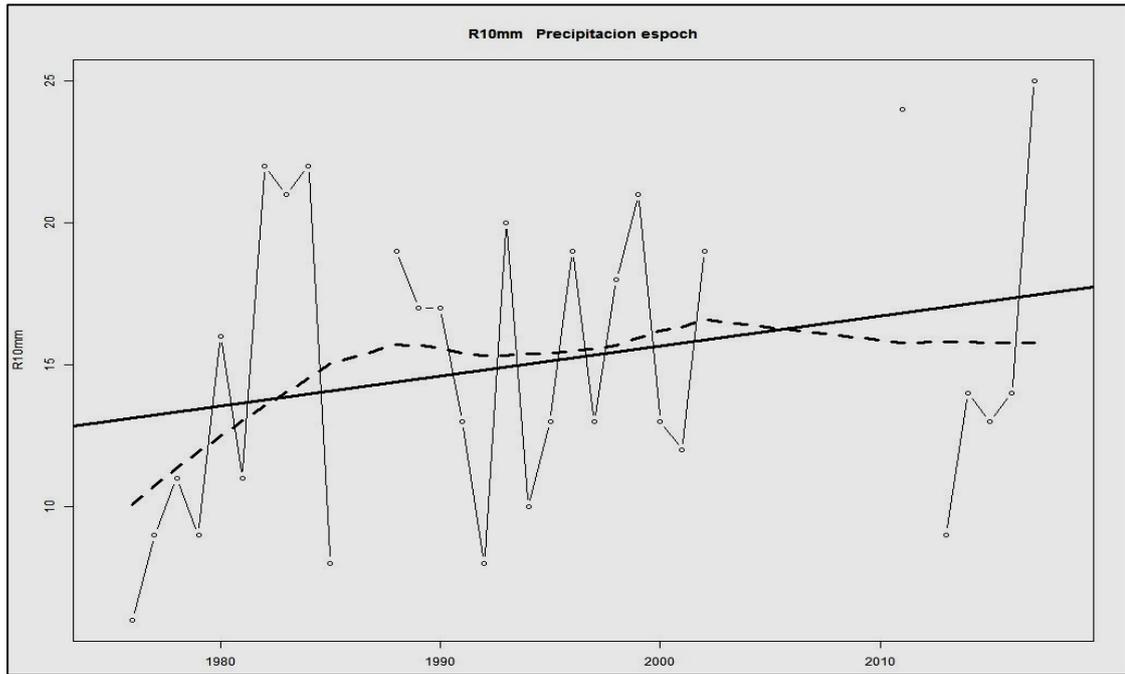
Realizado por: Alex Morocho. 2019

En la Tabla 1-3, el signo positivo del casillero “Slope” indica que hay un aumento en la pendiente de la tendencia.

Los índices que cumplieron con el criterio de aprobación ($p\text{-value} < 0.2$) para considerarlos estadísticamente significativos fueron: R10mm, R99P, RX1day, RX5day y SDII.

3.1.2.1 Índice R10mm

El índice R10mm (gráfica 1-3) indicó que hubo un aumento en el número de días con precipitación altas que sobrepasan los 10mm, siendo su incremento de 1 día por década. Se resalta que en la última década (2007-2017) se encontraron hasta 25 días de lluvias de gran magnitud, siendo la mayor en el año 2017.



Gráfica 1-3: Índice de extremo climático R10mm periodo 1976-2017.

Fuente: Realizado por Alex Morocho. 2019

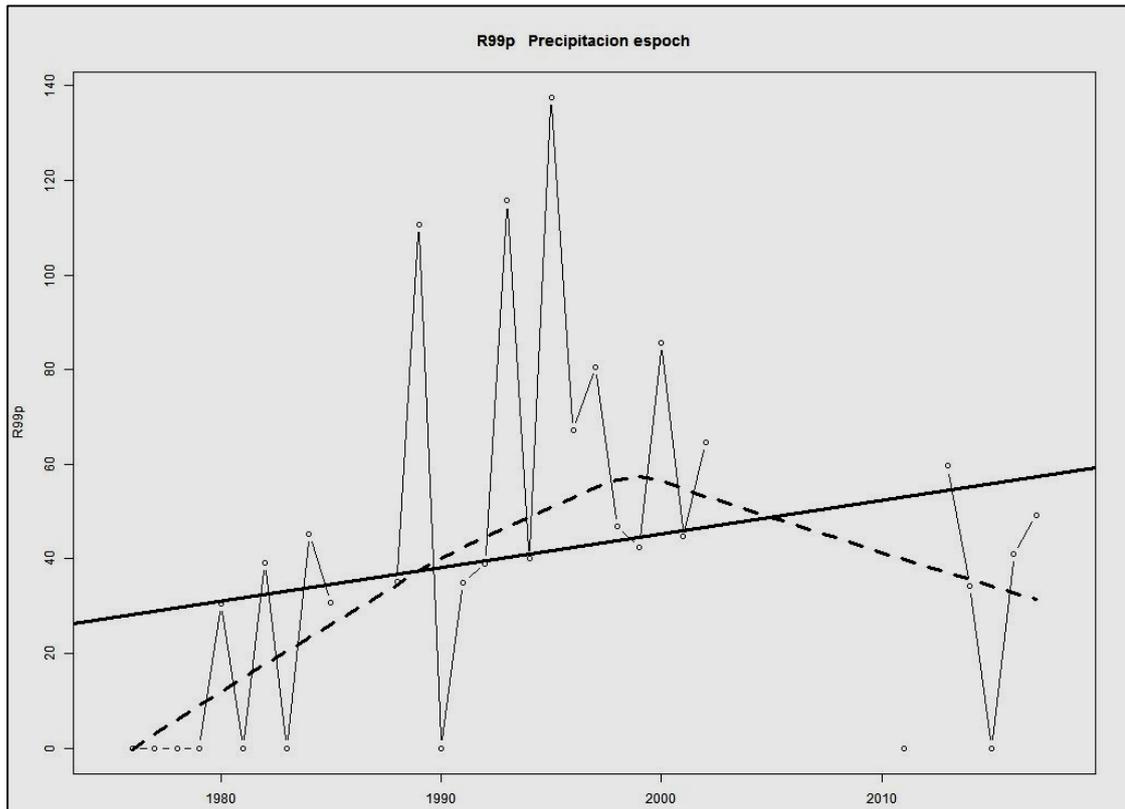
Tabla 2-3: Índice R10mm calculado por año

Año	R10mm (días)	Año	R10mm (días)
1976	6	1997	13
1977	9	1998	18
1978	11	1999	21
1979	9	2000	13
1980	16	2001	12
1981	11	2002	19
1982	22	2003	-99.9
1983	21	2004	-99.9
1984	22	2005	-99.9
1985	8	2006	-99.9
1986	-99.9	2007	-99.9
1987	-99.9	2008	-99.9
1988	19	2009	-99.9
1989	17	2010	-99.9
1990	17	2011	24
1991	13	2012	-99.9
1992	8	2013	9
1993	20	2014	14
1994	10	2015	13
1995	13	2016	14
1996	19	2017	25

Realizado por: Alex Morocho. 2019

3.1.2.2 Índice R99P

En la gráfica 2-3 el índice R99P indica que la precipitación anual total en días extremadamente lluviosos ha sido variada a lo largo de este periodo. Se presentó un incremento de 7mm de precipitación por década. Cabe destacar que en la década de los 90 fue el periodo en donde hubo una mayor precipitación, llegando a alcanzar 137.5 mm de precipitación en los días extremadamente lluviosos en el año 1995.



Gráfica 2-3: Índice de extremo climático R99p periodo 1976-2017.

Fuente: Realizado por Alex Morocho. 2019

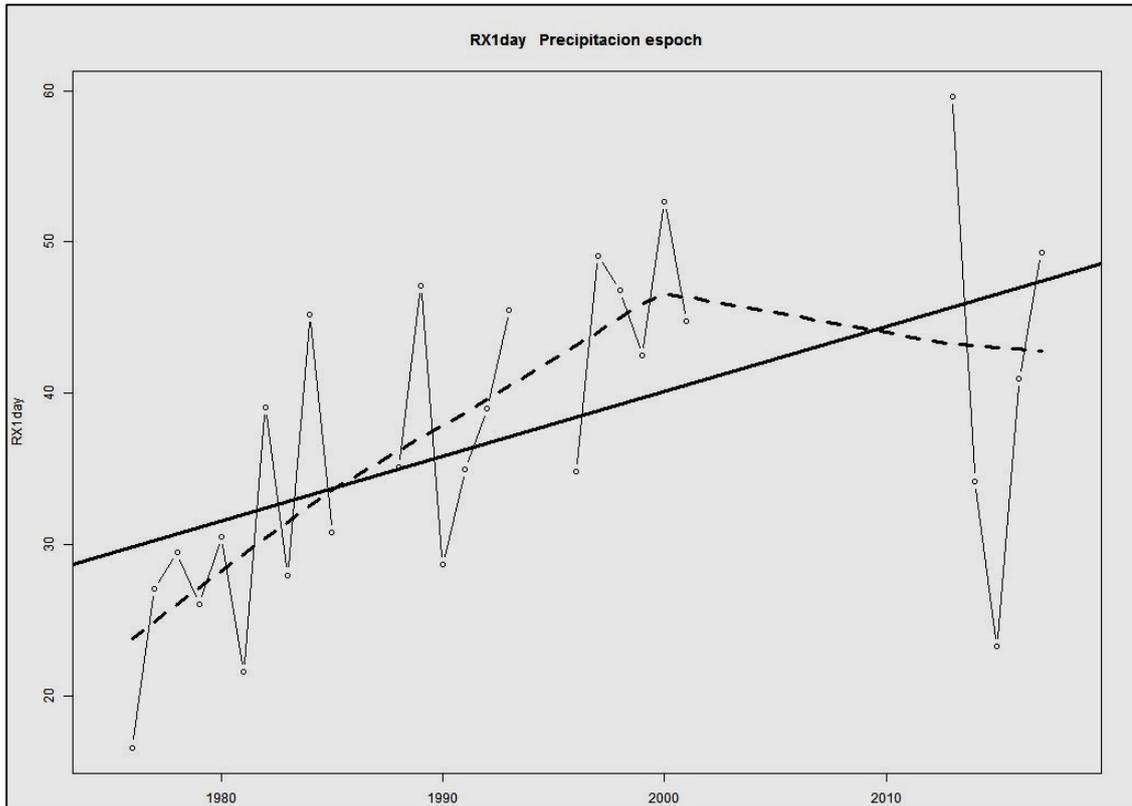
Tabla 3-3: Índice R99P calculado por año

Año	R99P (mm)	Año	R99P (mm)
1976	0	1997	80.6
1977	0	1998	46.8
1978	0	1999	42.5
1979	0	2000	85.7
1980	30.5	2001	44.8
1981	0	2002	64.7
1982	39.1	2003	-99.9
1983	0	2004	-99.9
1984	45.2	2005	-99.9
1985	30.8	2006	-99.9
1986	-99.9	2007	-99.9
1987	-99.9	2008	-99.9
1988	35.1	2009	-99.9
1989	110.6	2010	-99.9
1990	0	2011	0
1991	35	2012	-99.9
1992	39	2013	59.6
1993	115.7	2014	34.2
1994	40	2015	0
1995	137.5	2016	41
1996	67.2	2017	49.3

Realizado por: Alex Morocho. 2019

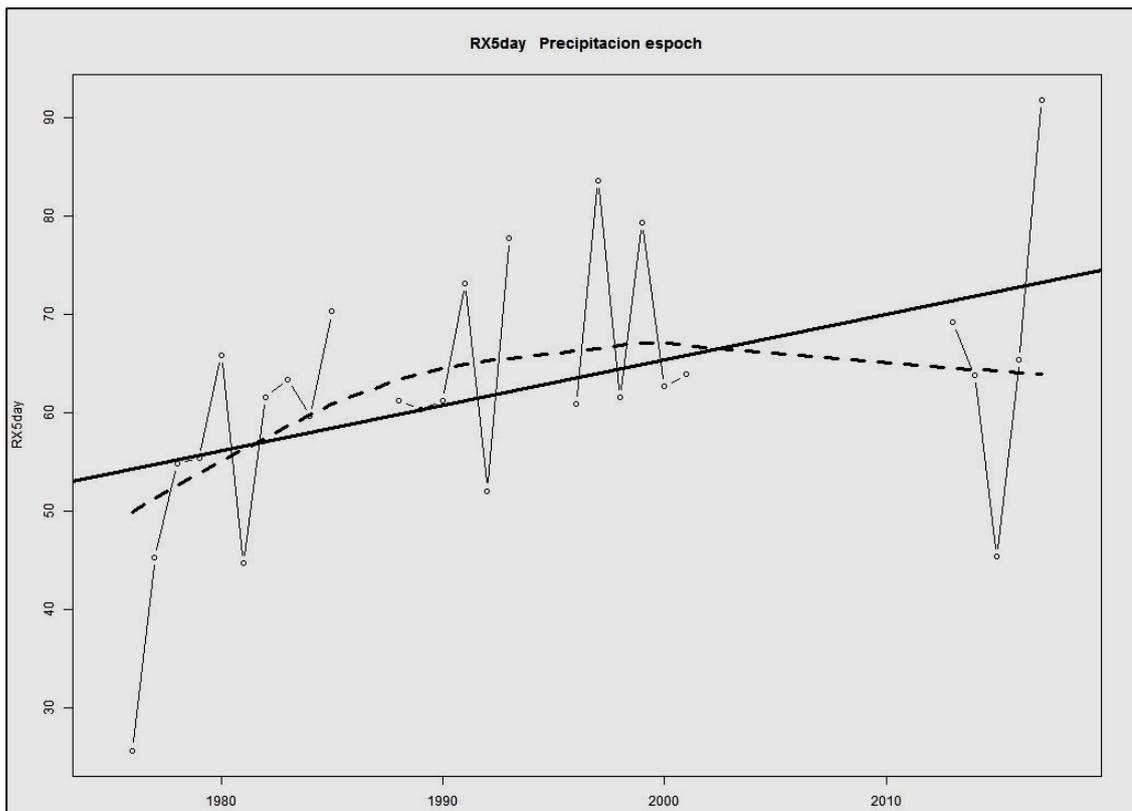
3.1.2.3 *Indice*RX1day y RX5day

RX1day y RX5day indicaron que hay un aumento ligero de tendencia en el máximo anual de precipitación en un día y en el máximo anual en 5 días consecutivos. Los valores máximos de precipitación en un día (grafica 3-3) presentaron aumentos de 4,3 mm por década, indicando un aumento en la tendencia de mayor cantidad de lluvia en un solo día del año, siendo la mayor en febrero de 2013 con un máximo de 59.3mm de precipitación.; mientras que los valores máximos de precipitación para 5 días consecutivos (grafica 4-3) presentaron un aumento 4,6mm por década indicando un aumento en la tendencia de mayor cantidad de lluvia en 5 días consecutivos del año, alcanzando los 91,8 mm de precipitación en febrero de 2017.



Gráfica 3-3: Índice de extremo climático Rx1day periodo 1976-2017.

Fuente: Realizado por Alex Morocho. 2019



Gráfica 4-3: Índice de extremo climático RX5day periodo 1976-2017.

Fuente: Realizado por Alex Morocho. 2019

Tabla 4-3: Índice RX1day en meses y años (mm)

Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
1976	4.8	14.1	8.7	9	15.5	6.1	2.8	6.2	7	8.4	16.6	7.7	16.6
1977	4.3	6.2	27.1	16.7	3.3	12.2	8.6	12.7	13.7	4.3	7.1	26.1	27.1
1978	10.8	12.6	13.2	29.5	12.1	8.5	7.5	1	18.4	4.4	1.4	6.6	29.5
1979	9.7	10	21.9	26.1	9.5	3.6	1.9	23.5	14.3	5	18.9	3.5	26.1
1980	18.5	30.5	22.9	13.3	5.3	9.1	4.1	6	6.9	23.5	19.3	20.6	30.5
1981	8.2	21.6	10.1	16.9	11.4	2.2	13.4	6.9	1.5	17.4	14.3	9.8	21.6
1982	12.1	8	25.6	22	17.3	11.9	4.8	2.7	7.5	17.5	24	39.1	39.1
1983	11.2	19.7	13.3	28	25.4	5.7	4.4	4.8	15.9	15.2	23.5	24.9	28
1984	14.8	25.2	45.2	23.8	17.2	15.4	2.9	6.5	20.4	29.9	19.5	19.3	45.2
1985	9.5	1.8	10.1	30.8	28.8	1.8	5.7	8.9	7.2	15.1	7.9	0	30.8
1986	-99.9	-99.9	-99.9	20.1	13.1	6.6	1.7	2.4	16.4	21.2	18.6	8.2	-99.9
1987	-99.9	-99.9	16.8	39.7	7.7	-99.9	-99.9	-99.9	21.1	21	-99.9	-99.9	-99.9
1988	6.2	35.1	6.8	18.5	16.3	22	27.6	7.7	7.2	26.2	14.9	8.2	35.1
1989	16.8	19.7	47.1	14.8	10.9	12.6	6.5	1.5	5.3	31.7	16.5	5	47.1
1990	20	20.6	2.9	23.3	12.7	9.5	7.6	3	17.2	28.7	18.6	12.2	28.7
1991	35	4.7	11.2	9.4	14.5	9.1	3.8	19.4	8.5	12.1	27.8	12.2	35
1992	15.5	11.7	15.5	39	6.8	9.1	4.1	3.8	5.8	5.5	11.6	18.6	39
1993	8.4	45.5	37.9	13.9	18	3	4.9	4.4	13.5	32.3	18.2	20	45.5
1994	27.4	13.3	40	22.8	9.8	6.6	4.5	7	-99.9	23.9	13.5	8.4	-99.9
1995	2.5	9.6	11.2	47.8	9	2.8	13.7	13.5	-99.9	19	54.6	11.9	-99.9
1996	21.8	17.5	34.8	17.9	32.4	11.6	2.7	2.5	16.2	14.1	6.7	12.5	34.8
1997	27.7	6.1	10.3	10.3	7.6	4.2	3	0.3	19.5	7.1	49.1	24.8	49.1
1998	10.7	20.5	46.8	22.1	12.2	12.8	17.6	8	1.8	19.3	10.9	1.3	46.8
1999	12.5	28.6	22.7	8.4	29.5	21.7	4.32	15.2	42.5	2.7	15.6	10.4	42.5
2000	20.2	52.7	17.1	12	22	33	1.2	9.1	7.7	9.1	7.7	14.2	52.7
2001	8.6	17.9	44.8	6.1	9.5	6.7	3.6	1.2	8	4.5	13.8	20.1	44.8
2002	10.1	7.5	16.4	-99.9	24	33.8	3.6	16.1	7.8	30.9	21.7	27	-99.9
2003	-99.9	-99.9	-99.9	-99.9	-99.9	-99.9	-99.9	-99.9	-99.9	-99.9	32	25.3	-99.9
2004	4.7	16.2	5.8	20.5	13.6	2.3	19	4.7	-99.9	-99.9	42.7	-99.9	-99.9
2005	-99.9	24.8	27.9	8.3	14.2	21.6	6.7	-99.9	-99.9	-99.9	24.4	27.1	-99.9
2006	3.4	23.7	20.6	21.7	9.3	26.4	2.8	-99.9	-99.9	-99.9	14.4	23.5	-99.9
2007	20.9	13.7	33.3	22.5	17.6	11.9	3.8	-99.9	-99.9	-99.9	13.8	8	-99.9
2008	18.3	22	17.6	18.9	22.3	19.2	3.7	-99.9	-99.9	-99.9	24.8	18.1	-99.9
2009	10.4	9.5	7.1	10.6	-99.9	13.9	9.7	-99.9	1	-99.9	13.7	-99.9	-99.9
2010	-99.9	17.3	6.4	21.3	16	10.7	14.6	-99.9	-99.9	17.7	20.8	24.2	-99.9
2011	10.2	19.6	19.2	19.4	11.2	11.1	4.1	3.2	19	-99.9	29.6	17.1	-99.9
2012	8.3	13.1	7.2	15.8	16.9	9.5	3	-99.9	-99.9	33.5	16.5	-99.9	-99.9
2013	3.5	59.6	8	13.5	15.2	9.7	1.7	4.4	2.9	20.9	17.8	6.2	59.6
2014	22.2	5.9	14.1	12.3	21.4	10.7	9.1	6	29.5	34.2	10.4	17	34.2
2015	13	8.5	22.6	13.2	23.3	7	7.8	2.2	0.7	21	19.9	7.8	23.3
2016	12.6	3.4	30.3	41	5.6	15	1.8	2.5	17.5	16.5	9.5	24.2	41
2017	15.7	49.3	26.8	10.1	16.7	17.5	5.2	11.5	5.5	8.2	13.9	16	49.3

Realizado por: Alex Morocho. 2019

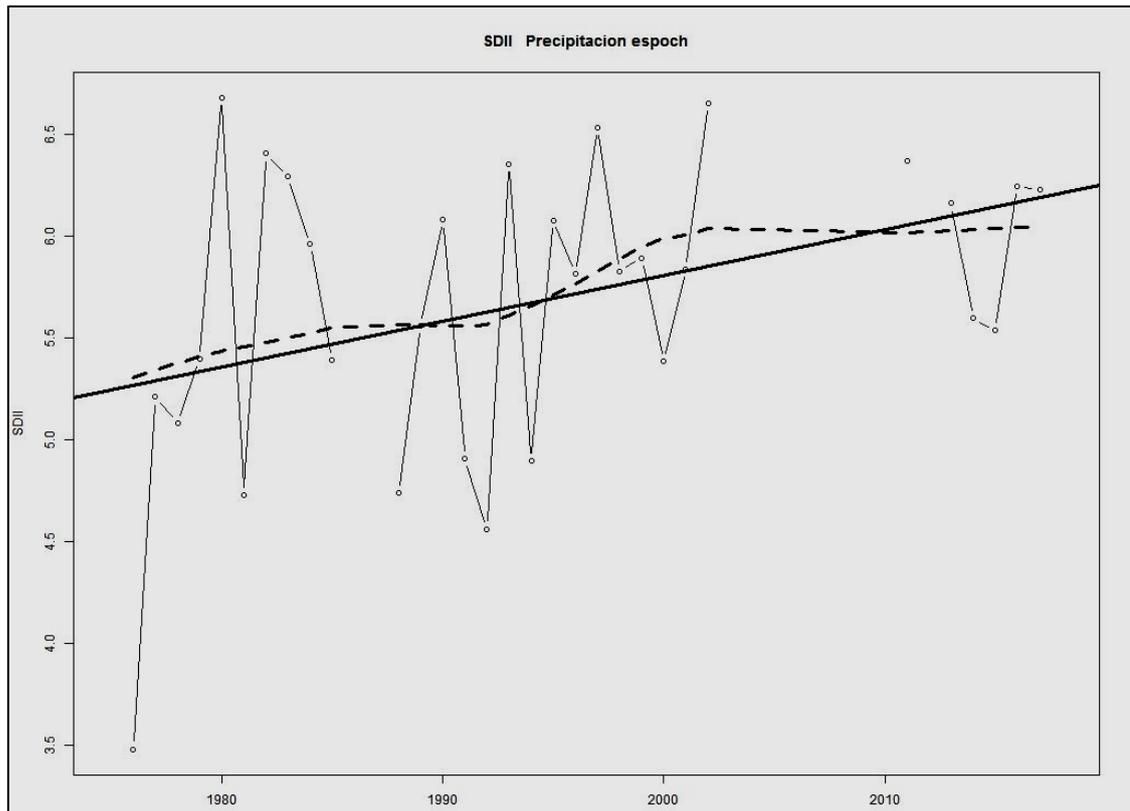
Tabla 5-3: Índice RX5day en meses y años (mm)

Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
1976	10.8	21.5	22.3	22.5	25.7	12.1	4.1	13.5	12.9	12.8	24.7	14.1	25.7
1977	8.4	9.6	33	38.1	25.2	12.7	9.5	28.2	45.3	20.5	14.9	35.7	45.3
1978	36	32	19	54.9	35.2	18.6	13.1	1.8	24.4	4.8	1.4	8.7	54.9
1979	13.8	16.2	55.4	47.4	45.6	6.9	2.4	28.2	37.5	9.7	18.9	19.3	55.4
1980	33.8	65.9	25.2	36.8	7.6	13.7	4.4	7.5	9.7	61.9	30.5	27.1	65.9
1981	8.7	25.7	25.6	21.2	19.6	3.7	27	12.9	4	44.7	27.4	23.9	44.7
1982	16.2	15.8	35.6	36.9	35.3	12.9	7.3	7	12.9	61.6	47.2	54.5	61.6
1983	32.8	51.4	37	54.6	36.2	6	6.3	12.5	20.3	35.2	26	63.4	63.4
1984	21	34.7	59.7	34.6	55.6	33.1	6.5	10.6	43.6	47.6	48.4	23.7	59.7
1985	10.5	3.3	16.7	43.7	70.3	3.9	6.9	16.2	16.2	24.4	20.2	4.4	70.3
1986	-99.9	-99.9	-99.9	43.6	30.4	15.3	1.9	4.8	20.1	29.8	36.2	17.1	-99.9
1987	-99.9	-99.9	40.5	95.8	102.9	-99.9	-99.9	-99.9	26.4	38.6	-99.9	-99.9	-99.9
1988	11.4	61.2	51.8	42.8	40.8	40.9	30.9	14.7	15.2	41.3	25.3	15.1	61.2
1989	16.8	26.3	60.4	23.9	16.5	29.9	10.7	1.7	11.3	42.6	18.3	6.8	60.4
1990	37.4	48	12.4	38.1	19.5	16.3	20.2	5.9	19.9	61.2	20.7	23.3	61.2
1991	36.9	8.7	22.4	20.9	36.6	17	18.5	22.3	13.3	28.4	73.2	15.1	73.2
1992	24	29.1	28.1	52.1	12.6	17	17.1	4.4	12.7	8.8	17.8	21.9	52.1
1993	14.6	77.8	56.8	33.8	29.4	3.3	10.7	6.7	14.8	40.9	38.8	31.2	77.8
1994	29.7	17.6	54.7	86.9	20.9	12.9	6	8.7	-99.9	30.9	37	15.2	-99.9
1995	5.4	10.4	33.6	73.9	25.9	6	21.9	17.7	-99.9	32.5	118.2	14	-99.9
1996	52.3	52	60.9	46.7	49.5	15	9.9	3.3	37.3	24.2	6.9	25.8	60.9
1997	43.7	43.7	17.1	36.1	14.2	8.6	6.6	0.5	27.6	12.6	83.6	38.8	83.6
1998	14	61.6	60.5	60.5	34.4	24.6	21.9	9.3	3.5	45.7	24.5	3.3	61.6
1999	24.6	63.8	31.1	36	39.4	39.3	8.52	31.4	79.3	56.2	32.9	24.9	79.3
2000	42.6	57.9	62.7	34	62.4	44.3	2.5	12.3	10.2	12.3	10.2	16.6	62.7
2001	16.5	33.9	63.9	20.6	13.6	17.6	9.4	1.5	15.6	6.5	23.5	55.8	63.9
2002	15	12.5	22.7	-99.9	43.6	43.8	3.6	19.7	16.2	67.1	58	64.2	-99.9
2003	-99.9	-99.9	-99.9	-99.9	-99.9	-99.9	-99.9	-99.9	-99.9	-99.9	38.9	41.1	-99.9
2004	7.4	42.8	15.5	43	19.8	17.8	21.2	21.7	-99.9	-99.9	48.4	-99.9	-99.9
2005	-99.9	34	45.8	12.5	14.2	30.6	36.9	-99.9	-99.9	-99.9	38	43	-99.9
2006	5.7	39.9	37.4	39.6	17.5	34.7	6.4	-99.9	-99.9	-99.9	58.4	32.1	-99.9
2007	35.4	13.9	43.8	46.7	30.5	22.4	5.4	-99.9	-99.9	-99.9	23.1	18.5	-99.9
2008	34	44.8	33.7	36.5	51.9	30.6	5.6	-99.9	-99.9	-99.9	30.4	33.8	-99.9
2009	31.3	25.7	12.8	18.9	-99.9	22.2	10.9	-99.9	1.4	-99.9	13.7	-99.9	-99.9
2010	-99.9	22.7	10.7	35.6	29.6	13.9	29	-99.9	-99.9	26.7	55.2	49.5	-99.9
2011	18.2	53.2	39.7	41.7	18.8	17.2	14.6	7.6	19.3	-99.9	56.4	73.9	-99.9
2012	14.9	26	26.4	32.3	18.5	10.1	3.8	-99.9	-99.9	45.5	20.8	-99.9	-99.9
2013	8.5	69.2	19.6	33.8	24.3	32.2	5.7	5.6	5	34.5	23.6	6.7	69.2
2014	63.8	12.3	22	16.8	58	21	11.3	8	42.4	38	12.4	25.3	63.8
2015	19.3	17.3	43.5	26.9	28.6	14.7	20.2	4.2	3.1	38	45.4	12.8	45.4
2016	17.9	6.5	58.5	65.4	24.3	27.2	3.4	4	24.7	16.8	21.5	25.7	65.4
2017	38.3	91.8	50.8	24.3	42.2	39.4	6	17.5	6.3	18.3	24.3	28.2	91.8

Realizado por: Alex Morocho. 2019

3.1.2.4 Índice SDII

El índice SDII mostrado en la gráfica 5-3 también mostró un aumento ligero en la intensidad diaria de precipitación, pronosticando un incremento 0.23 mm/día por cada década. La línea negra indica un claro aumento en la intensidad de la lluvia. Los picos as altos fueron en el año 1980 y 2002 en donde la intensidad de lluvia alcanzó 6,7mm/día.



Gráfica 5-3: Índice de extremo climático SDII periodo 1976-2017.

Fuente: Realizado por Alex Morocho. 2019

Tabla 6-3: Índice SDII en años

Año	SDII (mm)	Año	SDII (mm)
1976	3.5	1997	6.5
1977	5.2	1998	5.8
1978	5.1	1999	5.9
1979	5.4	2000	5.4
1980	6.7	2001	5.8
1981	4.7	2002	6.7
1982	6.4	2003	-99.9
1983	6.3	2004	-99.9
1984	6	2005	-99.9
1985	5.4	2006	-99.9
1986	-99.9	2007	-99.9
1987	-99.9	2008	-99.9
1988	4.7	2009	-99.9
1989	5.6	2010	-99.9
1990	6.1	2011	6.4
1991	4.9	2012	-99.9
1992	4.6	2013	6.2
1993	6.4	2014	5.6
1994	4.9	2015	5.5
1995	6.1	2016	6.2
1996	5.8	2017	6.2

Realizado por: Alex Morocho. 2019

El resto de índices no cumplieron los criterios de aprobación por lo que no se los considera como válidos. Esto se debió a los vacíos de información presentes en los datos históricos que generan discontinuidad en las series de tiempo y no permitieron realizar un buen análisis de los datos.

3.1.3 Precipitación total anual

EL software RClimdex también calculó la precipitación total (PRCPTOT) de cada año analizado. Si bien este índice no cumplió con el nivel de significancia aceptable para ser validado ($p\text{-value}=0.289$), es importante recalcar la acumulación de precipitación año tras año.

No fueron calculados ciertos años del periodo analizado debido a la gran cantidad de datos faltantes en esos años. En la tabla se muestra las precipitaciones anuales presentadas en mm.

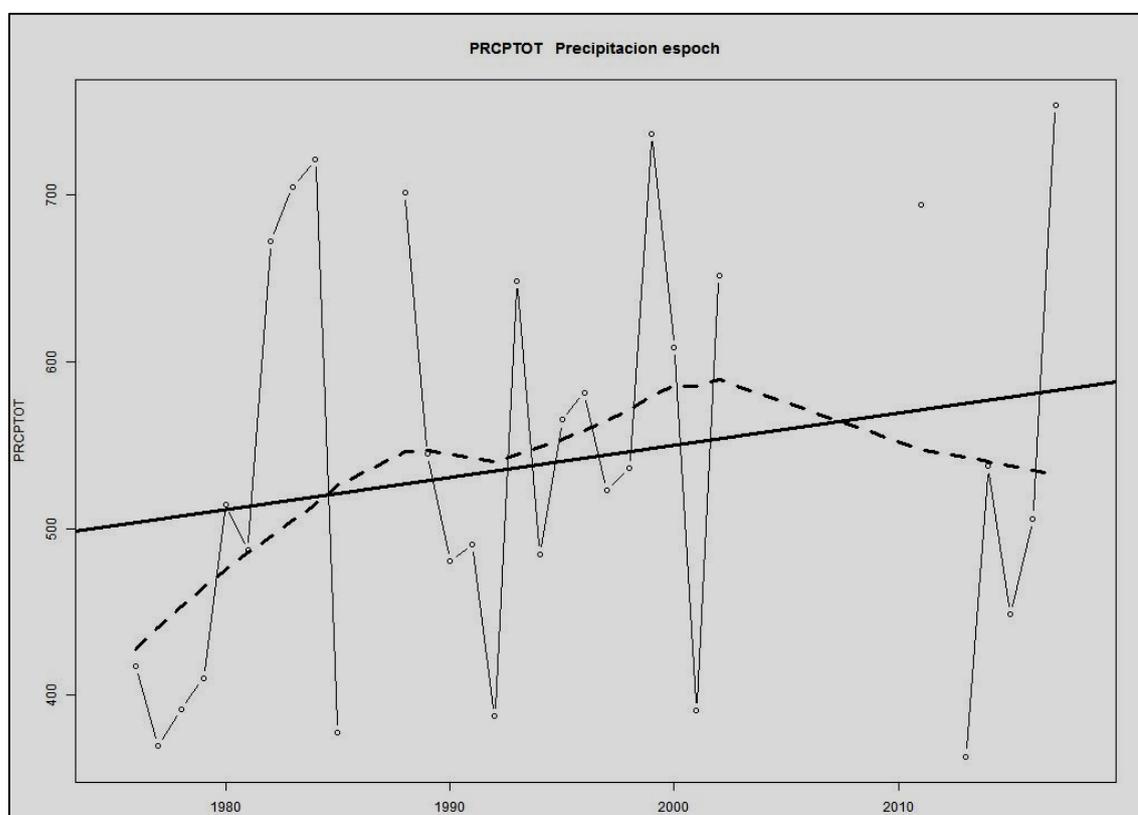
Tabla 7-3: Precipitaciones totales anuales periodo 1976-2017

Año	PRCPTOT (mm)
1976	417.8
1977	369.9
1978	391.5
1979	410
1980	514.3
1981	487.1
1982	672.6
1983	704.9
1984	721.2
1985	377.5
1986	-99.9
1987	-99.9
1988	701.3
1989	545
1990	480.3
1991	490.7
1992	387.8
1993	648.3
1994	484.8
1995	565.2
1996	581.7
1997	522.8
1998	536.2
1999	736.6
2000	608.4
2001	391.1
2002	651.9
2003	-99.9
2004	-99.9
2005	-99.9
2006	-99.9
2007	-99.9
2008	-99.9
2009	-99.9
2010	-99.9
2011	694.3
2012	-99.9
2013	363.5
2014	537.4
2015	448.6
2016	506
2017	753.8

Realizado por: Alex Morocho. 2019

En la tabla 7-3 el número -99.9 indica que hubo datos insuficientes para calcular la precipitación total anual.

En la gráfica 6-3 la línea negra indica un claro aumento en la cantidad de lluvia a lo largo del periodo, presentándose picos altos y bajos de precipitación total anual. Se destacan los años 1983, 1984, 1989, 1999 y 2017 en el que las precipitaciones fueron mayores a los 700mm/año; en cambio en los años 1977, 1978, 1992, 2001 y 2013 las precipitaciones fueron menores a los 400mm/año. También cabe señalar que según PRCPTOT se pronostica un aumento en el nivel total de precipitación anual de 19.26mm/década, es decir cada 10 años el nivel del régimen pluviométrico aumenta más de 19mm, dato que cuenta con una confiabilidad del 71% por lo ya mencionado anteriormente.



Gráfica 6-3: Índice de extremo climático PRCPTOT en el periodo 1976-2017.

Fuente: Realizado por Alex Morocho. 2019

3.2 Confiabilidad de los resultados

En la utilización de los datos, se encontró meses enteros sin información de precipitación, lo cual no permite realizar una mejor homogenización y procesamiento de los datos de precipitación.

Al no contar con una metadata disponible (registro de operación y mantenimiento de los equipos desde su instalación) se dificultó determinar si algún dato aberrante observado en los registros se debió a situaciones externas al funcionamiento y manejo normal de los equipos.

3.3 Discusión de los resultados

Al ser un estudio específico para la ciudad de Riobamba, a la fecha no ha existido otras investigaciones que hablen sobre variabilidad de la lluvia en dicha ciudad; sin embargo ha habido estudios en la región Sierra y en la Provincia de Chimborazo sobre variabilidad climática que han analizado las tendencias de precipitación utilizando metodologías similares.

En el presente estudio de manera general se puede decir que la tendencia en la precipitación anual se ha incrementado. Este resultado lo podemos comparar con estudios realizados en la región como es La Tercera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático (SCNCC) realizado en el 2017 que muestra que en promedio en la región interandina se experimenta una tendencia positiva del valor de cambio de la precipitación del orden del 13% (MAE, 2017); igualmente con el estudio de Bustamante (2017) que manifiesta que en la zona norte de la provincia de Chimborazo se presenta un ligero incremento de la precipitación.

Otros estudios realizados en la región en los que se utiliza índices de extremos climáticos también hablan de una tendencia positiva en la precipitación. Tenemos el caso de Armenta (2016) que en su análisis del 2000-2016 indica que para la precipitación en la región Sierra centro (en donde se localiza Riobamba), se aprecian incrementos de al menos 5 mm/década en los valores anuales, este argumento es comparable a lo obtenido en este estudio ya que por ejemplo con el índice RX5day se registró un aumento de 4,6mm/década. Igualmente el estudio de Andrango (2018) que estudio del año 1965 al 2015 la estación meteorológica de Cebadas ubicada en el Cantón Riobamba manifiesta que en el índice RX1day hay un aumento de 3mm/década, en el RX5day 0.6mm/década, en el R10mm un incremento en la tendencia de 2,7 días/década, datos que son comparables a los obtenidos en este estudio ya que los índices RX1day y RX5day tiene valores de 4,3 y 4,6 mm/década respectivamente, y en el R10mm con una tendencia de 1 día/década.

El fenómeno del niño ocurrido en décadas pasadas en la región costera del país pudiera haber sido una influencia para tener precipitaciones mayores a los 700mm/año en la ciudad, dato que sobrepasa al índice normal de precipitación anual calculado por el INAMHI en el año 2011 que es de 615mm/año. Según la Secretaria de Gestión de Riesgos, los eventos del fenómeno del niño catalogados como catastróficos se dieron en el periodo 1982-1983 y en 1997-1999 (SGR, n.d.). En estos periodos y sobretodo en 1983 la precipitación anual en la ciudad de Riobamba sobrepaso a los datos normales, alcanzando los 706mm de lluvia.

CONCLUSIONES

Se evaluó la confiabilidad de datos de precipitación y temperatura obtenidos en la estación meteorológica de la Espoch en el periodo 1976-2017. Para ello se tomó datos registrados por la DAC (Dirección de Aviación Civil) para completar los datos faltantes, obteniendo así un 96,7% de datos. Estos datos pasaron por un control de calidad mediante el uso del programa RCLimindex y posterior homogenización con la herramienta complementaria RHtest V4, permitiendo así un análisis que generen resultados más verídicos.

Se utilizó el método estadístico climatológico del programa Rclimindex en el cual se calcularon 11 índices de extremos climáticos relacionados con la precipitación, de los cuales de acuerdo al criterio establecido de “p-value<0.20” solo 5 fueron estadísticamente significativos para ser analizados.

Al Analizar las tendencias estadísticas de los datos históricos de la estación meteorológica de la ESPOCH, se puede concluir que existe hasta un 95% de confianza de que existen variaciones en el comportamiento de la lluvia durante los últimos 42 años en la ciudad de Riobamba, provocando un aumento en el nivel de precipitación. Así con los índices obtenidos por Rclimindex se puede decir que los días con precipitaciones mayores a 10mm aumentan a un ritmo de un día por década, que en las precipitaciones anuales en días de extrema lluvia hay un incremento de 7mm por cada década y las precipitaciones máximas diarias aumentan más de 4mm por década.

RECOMENDACIONES

Se recomienda generar respaldos de los registros de las series temporales obtenidos por la estación meteorológica, para así evitar discontinuidades, datos faltantes y errores al momento de realizar estudios.

Ampliar la zona de estudio hasta el cantón Riobamba para poder contar con más estaciones meteorológicas que permitan rellenar datos faltantes con métodos estadísticos.

Generar el análisis de variabilidad climática incluyendo a los datos de temperatura máxima y mínima para obtener un estudio meteorológico más completo a través de un mayor número de índices de extremos climáticos.

Se sugiere realizar estudios hidrográficos, orográficos y de vegetación para poder determinar las posibles causas de la variabilidad climática en la ciudad de Riobamba.

BIBLIOGRAFÍA

ANDRANGO QUISAGUANO, Daysi Tatiana. Determinación de la variabilidad climática mediante la aplicación de índices de cambio climático en el centro norte de la región interandina en el Ecuador. (Tesis). (Licenciatura). [En línea] Escuela Politécnica Nacional. Quito. 2018. [Consulta 2019-01-04]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19388>.

ARMENTA PORRAS, Guillermo Eduardo. *Análisis de tendencias climáticas y eventos climáticos extremos para Ecuador.* [En línea] Quito. 2016. [Consulta 2019-01-20]. Disponible en : <https://info.undp.org/docs/pdc/Documents/ECU/13 Análisis de tendencias climáticas y eventos climáticos extremos para Ecuador.pdf>

AYALA, Jhoana; et al. "Hydrometeorological network interconnectivity in Chimborazo Province, Ecuador." *Revista Técnica de La Facultad de Ingeniería Universidad Del Zulia* [En línea] . 2014, (Ecuador), pp. 251-262. [Consulta 2019-05-10] Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/321397825_Hydrometeorological_network_interconnectivity_in_Chimborazo_Province_Ecuador

AYLLÓN, Teresa. *Elementos de meteorología y climatología.* [En línea] Mexico-Mexico: Editorial Trillas, 2003. [Consulta 2019-05-01] Disponible en: <https://es.scribd.com/document/276539966/Elementos-de-Meteorologia-y-Climatologia>

BRADLEY, R., et al. "Precipitation Fluctuations over Northern Hemisphere Land Areas since the Mid-19th Century". *Science* [En línea]. 1987, pp. 171–175. [Consulta 2019-03-20] Disponible: <http://www.geo.umass.edu/faculty/bradley/bradley1987c.pdf>

BROWNLEE, K.; *Statistical Theory and Methodology in Science and Engineering.* [En línea] New York-EEUU: Wiley, 1965, pp. 342-346. [Consulta 2019-02-14] Disponible en: <https://epdf.tips/statistical-theory-and-methodology-in-science-and-engineering.html>

BUSTAMANTE CALDERÓN, D. "Escenario de cambio climático a nivel de subcuencas hidrográficas para el año 2050 de la provincia de Chimborazo-Ecuador". *LA GRANJA, Revista de Ciencias de La Vida.*[En línea]. 2017, (Ecuador), 26(2), pp. 15-27. [Consulta: 2019-03-20] Disponible en: http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-85962017000100015&LNG=PT&NRM=ISO&TLNG=PT

BUTTAFUOCO, G.; et al. "Spatial patterns of variability for rain fields at different timescales : an application in southern Italy". *European Water.* [En línea]. 2011, (Italia), 36, pp. 3–13. [Consulta: 2019-03-20] Disponible en: http://www.ewra.net/ew/pdf/EW_2011_36_01.pdf

CÉLLERI, R.; et al. "Space-time rainfall variability in the Paute Basin, Ecuadorian Andes. Hydrological Processes". *Hydrological Processes: An International Journal*. [En línea]. 2007, (Ecuador), 21(24), pp. 3316-3327. [Consulta: 2019-03-20] Disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/21997>

CEPRA-X. *Estaciones Meteorológicas Automáticas*. [En línea] Ecuador: Cedia, 2016. [Consulta 2019-03-20]. Disponible en: <http://190.15.135.179:8080/cedia/informacion.jsp>

CHEN, Y.; et al. "A Field Experiment on the Small-Scale Variability of Rainfall Based on a Network of Micro Rain Radars and Rain Gauges". *Journal of Applied Meteorology and Climatology*. [En línea]. 2015, (China), 54(1), pp. 243–255. [Consulta: 2019-03-19] Disponible en: <https://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/JAMC-D-13-0210.1>

CHOW, V.; et al. *Hidrologia Aplicada*. [En línea]. Santa Fé-Colombia: NOMOS S.A., 1994. [Consulta: 2019-03-19]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/378446121/Hidrologia-Ven-Te-Chow-pdf>

CIIFEN. *Metodología para la Estimación de Vulnerabilidad en Ecuador, Perú y Bolivia, Proyecto Información de cambio climático y biodiversidad para el fomento de políticas públicas de conservación y adaptación en la región de los Andes Tropicales*. [En línea] Guayaquil, 2014, pp. 1-45. [Consulta: 2019-02-24]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/280494158_Estimacion_de_la_Vulnerabilidad_de_los_Ecosistemas_Andinos_con_Herramientas_SIG/download

CORTÉS CÓRTEZ, Ana Cristina. Análisis De La Variabilidad Espacial Y Temporal De La Precipitación En Una Ciudad De Media Montaña Andina Caso De Estudio: Manizales. (Tesis) . (Maestría). [En línea] Universidad Nacional de Colombia. Manizales. 2010. [Consulta 2019-02-28] Disponible en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/3584/1/anacristinacortescortes.2010.pdf>

CRC-OSA. *Herramientas de Análisis Climática*. [En línea]. Ecuador: CIIFEN, 2017. [Consulta: 2019-04-23]. Disponible en: http://crc-osa.ciifen.org/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=114&Itemid=499 (2017).

CROWLEY, Thomas; & NORTH, Gerald. "Abrupt Climate Change and Extinction Events in Earth History". *Science*. [En línea]. 1988, (EEUU), 240(4855), pp. 996–1002. [Consulta 2019-03-20] Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Gerald_North/publication/6108220_Abrupt_Climate_Change_and_Extinction_Events_in_Earth_History/links/02e7e532c3ef2ae202000000/Abrupt-

Climate-Change-and-Extinction-Events-in-Earth-History.pdf

DE LA FUENTE FERNANDEZ, Santiago. "Series temporales". [En línea] Universidad Autónoma de Madrid. n.d. (España). [Consulta 2019-02-21]. Disponible en: <http://www.estadistica.net/ECONOMETRIA/SERIES-TEMPORALES/modelo-clasico.pdf>

DÍAZ, Henry; et al. "Precipitation fluctuations over global land areas since the late 1800's". *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. [En línea] 1989. (EEUU), 94(D1), pp. 1195–1210. [Consulta 2019-02-28]. Disponible en: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1029/JD094iD01p01195>

ETCCDI/CRD. *Climate Change Indices: Definitions of the 27 core índice*. [En Línea]. EEUU: Clivar, n.d. [Consulta 2019-04-26]. Disponible: http://etccdi.pacificclimate.org/list_27_indices.shtml

FRICH, P.; et al. "Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century". *Climate Research*. [En Línea] 2002, (Países Bajos), 19(3), pp. 193–212. [Consulta 2019-02-21] Disponible en: <http://www.int-res.com/articles/cr2002/19/c019p193.pdf>

GARCÉS ACUÑA, Diana Lucía. Gestión Ambiental Integral para el manejo y conservación del páramo de la microcuenca del río Chimborazo. (Tesis). (Ingeniería). [En línea] Universidad Nacional de Chimborazo. Riobamba. 2010. [Consulta 2019-02-20] Disponible en: <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/734/1/UNACH-EC-IMB-2010-0004..pdf>

GONZÁLEZ, J.; et al. "Analysis of rainfall trends (1920–2004) in Mexico". *Investigaciones Geográficas, Boletín Del Instituto de Geografía, UNAM*. [En línea] 2008. (México), 65 (900), pp. 38–55. [Consulta 2019-02-20] Disponible en: <http://www.ejournal.unam.mx/rig/RIG065/RIG000006503.pdf>

HERNÁNDEZ GARCÍA, Elisa; et al. "Ejercicio de homogeneización y relleno de series diarias de temperatura máxima, mediante el uso de Climatol". *Publicaciones de la Asociación Española de Climatología*. [En línea]. 2012. (España), 8. [Consulta 2019-02-20]. Disponible en: https://repositorio.aemet.es/bitstream/20.500.11765/8294/1/0039_VIII-2012-EM_HERNANDEZGARCIA.pdf

HIJAR, Gisely, et al. "Fenómeno el niño y desastres naturales: intervenciones en salud pública para la preparación y respuesta". *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*. [En línea]. 2016, (Perú) 33, pp. 300-310. [Consulta 2019-02-28] Disponible en: https://www.scielo.org/scielo.php?pid=S1726-46342016000200300&script=sci_arttext&tlng=pt

HULME, Mike; et al. "Precipitation sensitivity to global warming: Comparison of observations with HadCM2 simulations". *Geophysical Research Letters*. [En línea]. 1998, (Reino Unido), 25 (17), pp. 3379–3382. [Consulta 2019-02-20]. Disponible en: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1029/98GL02562>

INAMHI. *Boletín Agrometeorológico Mensual N° 12*. [En Línea]. Ecuador: Servicio Meteorológico, 2017. [Consulta: 2019-02-21] Disponible en: http://www.serviciometeorologico.gob.ec/meteorologia/boletines/bol_agr_men.pdf

IPCC. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptions and Vulnerability. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. [En Línea]. Reino Unido: Cambridge University Press, 2007. [Consulta 2019-02-23] Disponible en: https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg2/ar4_wg2_full_report.pdf

JONES, P. D.; & HULME, M. "Calculating regional climatic time series for temperature and precipitation: methods and illustrations". *International Journal of Climatology*. [En línea]. 1996, (Reino Unido), 16(4), pp. 361–377. [Consulta 2019-02-15]. Disponible en: <https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/%28SICI%291097-0088%28199604%2916%3A4%3C361%3A%3AAID-JOC53%3E3.0.CO%3B2-F>

KIKTEV, D.; et al. "Comparison of Modeled and Observed Trends in Indices of Daily Climate Extremes". *Journal of Climate*. [En línea]. 2003, (Rusia), 16(22), pp. 3560–3571. [Consulta 2019-02-20]. Disponible en: [https://journals.ametsoc.org/doi/full/10.1175/1520-0442\(2003\)016%3C3560:COMAOT%3E2.0.CO%3B2](https://journals.ametsoc.org/doi/full/10.1175/1520-0442(2003)016%3C3560:COMAOT%3E2.0.CO%3B2)

LE GOULVEN, Patrick. "Homogenización de los datos pluviométricos". *Seminario "Día Mundial de la Meteorología"* [En línea] INAMHI. Quito. 1988. [Consulta 2019-02-12]. Disponible en: http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers11-03/010042844.pdf

MADEREY, Laura; & JIMÉNEZ, Arturo. *Principios de hidrogeografía. Estudio del ciclo hidrológico*. [En línea] Mexico-Mexico: Universidad Nacional Autónoma de México. 2005. [Consulta: 2019-03-20]. Disponible en: http://www.igeograf.unam.mx/sigg/utilidades/docs/pdfs/publicaciones/geo_siglo21/serie_tex_uni/G_S_XXI_Principios_de_hidrogeograf%C3%ADa_portada.pdf

MAE. *Inventario Preliminar de las Emisiones de Contaminantes del Aire , de los cantones Ambato , Riobamba , Santo Domingo de los Colorados , Latacunga , Ibarra , Manta , Portoviejo , Esmeraldas y Milagro*. [En línea]. Ecuador: Gobierno Nacional, 2014. [Consulta 2019-02-18].

Disponible en: <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/05/Libro-Resumen-Inventario-13-02-2014-prensa.pdf>

MAE. *Primera Comunicación Nacional del Ecuador a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático* [En línea]. Ecuador: Gobierno Nacional, 2000. [Consulta 2019-03-21] Disponible en: http://euroclimaplus.org/intranet/_documentos/repositorio/01Comunicaci%C3%B3n%20ONUC%20Clim%C3%A1tico_2001Ecuador.pdf

MAE. *Tercera Comunicación Nacional del Ecuador a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.* [En línea] Ecuador: Gobierno Nacional: 2017. [Consulta 2019-02-18] Disponible en: <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/10/TERCERA-COMUNICACION-BAJA-septiembre-2017-1lovepdf-compressed1.pdf>

MATURANA, Jenny; et al. "Antecedentes históricos y descripción del fenómeno El Niño, Oscilación del Sur." *El Niño-La Niña.* [En línea] 1997, (Chile), 2000, pp. 13-27. [Consulta: 2019-04-01]. Disponible en: <http://www.divulgameteo.es/uploads/ENSO-antecedentes-descripci%C3%B3n.pdf>

Mesa, S.; et al. *Introducción al clima de Colombia.* [En línea] Bogotá-Colombia: CO-BAC, 1997. [Consulta: 2019-02-23]. Disponible en: https://www.academia.edu/835890/Introducci%C3%B3n_al_Clima_de_Colombia?auto=download

MUÑOZ, Ángel; et al. *Análisis estadístico con FClimdex para Ecuador.* [En línea] Quito-Ecuador: Inmahi-Mae, 2010. [Consulta 2019-02-11]. Disponible en: <https://docplayer.es/7170796-Analisis-estadistico-con-fclimdex-para-ecuador.html>

MUÑOZ, Ángel. *Análisis estadístico con Climdex de índice climáticos para las provincias de Pichincha y Napo.* [En línea] Maracaibo-Venezuela: Universidad de Zulia, 2014. [Consulta 2019-02-26]. Disponible en: <https://docplayer.es/35935111-Analisis-estadistico-con-climdex-de-indice-climaticos-para-las-provincias-de-pichincha-y-napo.html>

NARANJO GAIBOR, Luis Felipe. Caracterización hidrogeológica de la subcuenca del río Chambo. (Tesis). (Ingeniería). [En línea]. Universidad Central del Ecuador. 2013. Quito. [Consulta 2019-04-20]. Disponible en: www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/1369/1/T-UCE-0012-250.pdf

ORGANIZACION METEOROLÓGICA MUNDIAL. *Guía de Instrumentos y Métodos de*

Observación Meteorológicos Guía de Instrumentos y Métodos de Observación Meteorológicos. [En línea] Suiza: OMM, 2010. [Consulta: 2019-03-12]. Disponible en: https://library.wmo.int/pmb_ged/wmo_8-2014_es.pdf

ORTS, R.; & POQUET, M. *La calidad del aire- estación meteorológica.* [En línea] España: Generalitat Valenciana, 2017. [Consulta: 2019-03-19]. Disponible en: http://www.cma.gva.es/areas/educacion/educacion_ambiental/educ/publicaciones/calidad_aire/airval/PDF/vis_1.pdf

PEDERSEN, Lisbeth; et al. "Quantification of the spatial variability of rainfall based on a dense network of rain gauges". *Atmospheric Research.* [En línea] 2010, (Dinamarca) 95, pp. 441-454. [Consulta 2019-02-23]. Disponible en: http://henrikmadsen.org/wp-content/uploads/2014/05/Journal_article_-_2010_-_Quantification_of_the_spatial_variability_of_rainfall_based_on_a_dense_network_of_rain_gauges.pdf

PINILLA, María Carolina; & PINZÓN, Carlos. "Caracterización de eventos extremos asociados a la precipitación usando RCLimdex, en la parte central del Departamento de Santander, Colombia". *Publicaciones de la Asociación Española de Climatología.* [En línea] 2012, (Colombia), Serie A(8), pp. 593-601. [Consulta: 2019-03-20]. Disponible en: https://repositorio.aemet.es/bitstream/20.500.11765/8323/1/0057_VIII-2012-MC_PINILLA.pdf

QUINTERO, Angel; et al. "Adaptación a la variabilidad y el cambio climático: intersecciones con la gestión del riesgo". *Revista Luna Azul.* [En línea] 2012, (Colombia), (34), pp. 257-271. [Consulta: 2019-02-02]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=321727348015>

REGISTRO OFICIAL DEL ECUADOR. *Estatuto orgánico de gestión organizacional por procesos del instituto nacional de meteorología e hidrología - inamh (2011).* [En línea] Ecuador: Servicio meteorológico, 2011. [Consulta 2019-02-23]. Disponible en: <http://www.serviciometeorologico.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/12/orgánico-INAMHI.pdf>

ROLLENBECK, R.; & BENDIX, J. " Rainfall distribution in the Andes of southern Ecuador derived from blending weather radar data and meteorological field observations". *Atmospheric Research.* [En línea] 2011, (Ecuador), 99(2), pp. 277-289. [Consulta 2019-03-20]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169809510002826>

SANTOS, J. *Manual de Usuario de R-Climdex(Versión en Español).* [En línea] Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno del Niño CIIFEN, 2004. [Consulta 2019-02-05].

Disponible en: etcddi.pacificclimate.org/RCLimDex/RCLimDex_Manual_Usuario.doc

SERRANO, Sheila; et al. "Análisis estadístico de datos meteorológicos mensuales y diarios para la determinación de variabilidad climática y cambio climático en el Distrito Metropolitano de Quito". *La Granja*. [En línea] 2012, (Ecuador), 16(2), pp. 23-47. [Consulta 2019-02-20]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/html/4760/476047400004/>

SGR. *SGR confirma la presencia del Fenómeno del Niño en Ecuador*. [En línea]. Ecuador: Secretaria Nacional de Gestion de riesgos y emergencias, s.f. [Consulta: 2019-03-26]. Disponible en: <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/sgr-confirma-la-presencia-del-fenomeno-del-nino-en-ecuador/>

YÉPEZ TAMBACO, David Augusto. *Análisis de la arquitectura vernácula del Ecuador: Propuestas de una arquitectura contemporánea sustentable*. (Tesis). (Maestría). [En línea] Universidad Politécnica de Cataluña, 2012. [Consulta 2019-03-29]. Disponible en: <http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/bitstream/28000/829/1/T-SENESCYT-0372.pdf>

VILLELA, Swami; & MATTHUS, Arthur. *Hidrologia Aplicada*. Sao Paulo-Brasil: McGraw-Hill, 1975. [Consulta 2019-03-29]. Disponible en: <https://ecivilufes.files.wordpress.com/2011/04/villela-s-m-matos-a-hidrologia-aplicada-caps-1-2-e-3.pdf>

WANG, X. "Accounting for Autocorrelation in Detecting Mean Shifts in Climate Data Series. Using the Penalized Maximal t or f Test". *Journal of Applied Meteorology and Climatology*. [En línea] 2008 (Canadá), 47(9), pp. 2423-2444. [Consulta 2019-05-10]. Disponible en: <http://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/2008JAMC1741.1>

WANG X.; & FENG, Y. *RHtest V4 User Manual*. [En Línea]. Canadá: ETCDDI, 2013. [Consulta: 2019-05-01]. Disponible en: <http://etcddi.pacificclimate.org/software.shtml>

ZHANG, X.; & YANG, F. *RCLimDex (1.0) Manual del Usuario*. [En línea]. Canada: ETCDDI, 2004. [Consulta 2019-02-20]. Disponible en: http://geoportal.ciifen.org/media/filer_public/c4/65/c4658d38-c6ef-4729-9f80-94ff9f9ecb3a/manual_de_inices_climaticos.pdf