



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA DE ESTADÍSTICA

**“TEORÍA DE VALORES EXTREMOS PARA EL ANÁLISIS DE LA
PRECIPITACIÓN DE LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA ESPOCH (1976-
2019)”**

Trabajo de titulación

Tipo: Proyecto de investigación

Presentado para obtener el grado académico de:

INGENIERO EN ESTADÍSTICA INFORMÁTICA

AUTOR: LUIS PATRICIO VARGAS SANUNGA

DIRECTORA: ING. AMALIA ISABEL ESCUDERO VILLA

Riobamba – Ecuador

2021

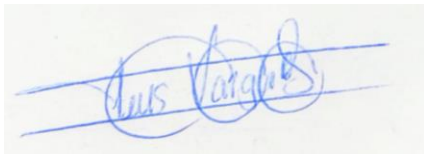
© 2021, Luis Patricio Vargas Sanunga

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.

Yo, Luis Patricio Vargas Sanunga declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos en el documento que proviene de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación: El patrimonio intelectual permanece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 20 de febrero de 2021


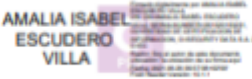
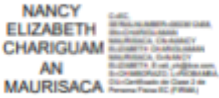


Luis Patricio Vargas Sanunga

172637267-3

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA DE ESTADÍSTICA

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de titulación: Tipo: Proyecto de Investigación, **TEORÍA DE VALORES EXTREMOS PARA EL ANÁLISIS DE LA PRECIPITACIÓN DE LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA ESPOCH (1976-2019)**, realizado por el señor: Luis Patricio Vargas Sanunga, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en la virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	Firma	Fecha
Dr. Xavier Arquimides Haro Velastegui PRESIDENTE DE TRIBUNAL		2021/08/27
Ing. Amalia Isabel Escudero Villa DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN		2021/08/26
Ing. Nancy Elizabeth Chariguamán Maurisaca MIEMBRO DE TRIBUNAL		2021/08/27

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación está dedicado con todo mi amor a DIOS, por haberme dado sabiduría y fuerza, guiándome día a día hasta concluir un período más en mi vida.

A mis progenitores Segundo Manuel Vargas y María Piedad Sanunga por brindarme su amor, cariño, y apoyo incondicional ya que son el principal cimiento en mi formación como profesional y como persona de bien, ya que sin ellos no lo habría logrado. A mis hermanos quienes siempre tuvieron una palabra de aliento, en esos momentos complicados.

A mi motor de vida mi Rosario que con la sabiduría de DIOS, me supo inculcar la honestidad y el amor a la familia, la humildad. Gracias por tu cariño, paciencia y por cada una de tus enseñanzas, por siempre regalarme una sonrisa. Gracias por llevarme en tus oraciones porque estoy seguro que siempre lo hacías, y sé que desde el cielo me sigues guiando en cada paso que doy en mi vida. Te amo.

¡Gracias por confiar en mí!

Luis

AGRADECIMIENTO

Principalmente agradezco de sobremanera a DIOS por permitirme cumplir una meta más en mi vida, por la salud y el bienestar y por su infinito amor. A cada uno de mis familiares por el apoyo incondicional que me ofrecen en cada paso que doy en mi vida.

De la misma manera quiero brindar un sencillo y muy honesto agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a la Facultad de Ciencias la cual se convirtió en un segundo hogar; permitiéndome encontrar personas a las cuales puedo llamar amigos, con quienes viví momentos buenos y no tan buenos y sobre todo por la formación académica y profesional.

De igual manera agradezco a mis profesores en específico a la Ing. Isabel Escudero; Directora del trabajo de titulación, a la Ing. Nancy Chariguamán; Miembro del Tribunal, quienes con sus valiosos conocimientos hicieron que posible la culminación de este trabajo de titulación, gracias a cada una de ustedes por su paciencia, dedicación, apoyo incondicional y amistad.

Agradezco de sobre manera al Grupo de Investigaciones de Energías Alternativas y Ambiente (GEAA) de la ESPOCH, por el apoyo a la realización de esta investigación.

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE GRAFICOS	xii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiii
INDICE DE ABREVIATURAS	xiv
RESUMEN	xv
SUMMARY	xvi
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I.....	4
1. MARCO TEORICO REFERENCIAL.....	4
1.1. Antecedentes	4
1.2. Planteamiento del Problema	5
1.2.1. Enunciado del problema	6
1.2.2. Formulación (Incógnita)	6
1.3. Justificación	6
1.4. Objetivos	7
1.4.1. Objetivo General	7
1.4.2. Objetivos Específicos	7
1.5. Bases Teóricas.....	7
1.6. Bases Conceptuales	9
1.6.1. Precipitación	9
1.6.1.4. Umbral	10
1.6.2. Cambio Climático.....	10
1.6.3. Variabilidad Climática	10
1.6.4. Provincia de Chimborazo	11
1.6.5. Ciudad de Riobamba.....	11
1.6.5.1. Estación Meteorológica	12
1.6.5.2. Coordenadas de la Estación Meteorológica de Estudio	12
1.6.6. R-Studio.....	12
1.6.7. Homogenización de datos	13

1.6.8. <i>Análisis Exploratorio</i>	13
1.6.8.1. Media	13
1.6.8.2. Mediana	14
1.6.8.3. Moda	14
1.6.8.4. Varianza	14
1.6.8.5. Desviación Estándar	14
1.6.9. <i>Imputación de datos</i>	15
1.6.9.1. Imputación de datos mediante las medias incondicionales	15
1.6.9.2 Paquete Mice.....	15
1.6.10. <i>Datos Atípicos</i>	16
1.6.11. <i>Teoría de Valores Extremos</i>	16
1.6.11.1. Primer teorema fundamental.....	17
1.6.11.2. Segundo teorema fundamental.....	18
1.6.12.1. Método POT	19
1.6.13. <i>Predicciones mediante interpolación de datos</i>	20
CAPÍTULO II	21
2. MARCO METODOLÓGICO	21
2.1. Tipo de Investigación	21
2.2. Diseño de la investigación	21
2.3. Localización del estudio	21
2.4. Población de estudio	22
2.5. Tamaño de la muestra	23
2.6. Método de muestreo	23
2.7. Técnica de recolección de datos	23
2.8. Análisis estadístico	23
2.8.1. <i>Procesamiento de datos</i>	23
2.8.2. <i>Estadísticas descriptivas</i>	25
2.8.3. <i>Imputación de datos</i>	25
2.8.4. <i>Series de Tiempo</i>	25
2.8.5. <i>Teoría de valores Extremos</i>	25
2.9. Operacionalización de las variables	26
CAPÍTULO III	27
3. MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN	27
3.1. Base de datos	27
3.2. Análisis descriptivo de los datos	28
3.3. Análisis de datos faltantes	29

3.4.	IMPUTACION DE DATOS	30
3.4.1	<i>Graficas de Precipitación mensual y anual</i>	30
3.5.	Estadísticas descriptivas de datos imputados	32
3.6.	Series de tiempo	34
3.7.	Análisis de umbral.....	35
3.8.	Gráfico de vida residual media	36
3.9.	Análisis valores extremos.....	37
3.10.	Nivel de precipitación para el mes de febrero y abril.	38
	RECOMENDACIONES	40
	BIBLIOGRAFÍA.	1
	ANEXOS.....	1

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2: Base de datos Precipitación.....	24
Tabla 2-2: Operacionalización de las variables	26
Tabla 1-3: Precipitaciones por horas sinópticas y por fechas	27
Tabla 2-3: Estadísticas descriptivas.....	28
Tabla 3-3. Media, varianza y desviación estándar	35
Tabla 4-3: Parámetros de GPD	37
Tabla 5-3: Nivel de Precipitación	38

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Mapa de la precipitación de Chimborazo promedio anual	11
Figura 2-1. Estación meteorológica de la ESPOCH vista desde el espacio	12
Figura 1-2. Estación meteorológica de la ESPOCH vista desde el espacio	22
Figura 2-2. Estación meteorológica de la ESPOCH.....	22

ÍNDICE DE GRAFICOS

Gráfico 1-3. Distribución de la precipitación por horas sinópticas y en forma general	28
Gráfico 2-3. Box Plot de la precipitación para cada hora sinóptica y para todo el conjunto de datos	29
Gráfico 3-3. Patrón de datos faltantes	29
Gráfico 4-3. Precipitación mensual horas sinópticas	31
Gráfico 5-3. Precipitación media mensual	31
Gráfico 6-3. Precipitación media anual, periodo 1976-2019	32
Gráfico 7-3. Distribución de la precipitación por horas sinópticas y en forma general	32
Gráfico 8-3. Box Plot de la precipitación para cada hora sinóptica y para todo el conjunto de datos	33
Gráfico 9-3. Densidad de datos	33
Gráfico 10-3. Serie de tiempo por horas sinópticas	34
Gráfico 11-3. Precipitaciones diarias 1976-2019	35
Gráfico 12-3. Identificación del umbral optimo	36
Gráfico 13-3. Vida residual media	36
Gráfico 14-3. Análisis de valores extremos de la precipitación mediante GPD	37
Gráfico 15-3. Estudio de la cola derecha de la distribución	38

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: EXTRACTO DE LA BASE DE DATOS UTILIZADA EN EL ANÁLISIS

ANEXO B: EXTRACTO DE LA BASE DE DATOS COMPLETA UTILIZADA

ANEXO C: SCRIPT DE R UTILIZADO EN LA INVESTIGACIÓN

ANEXO D: CÓDIGO GRÁFICA DE LA ELECCIÓN DEL MEJOR UMBRAL

ANEXO E: CÓDIGO GRÁFICO DE LA VIDA RESIDUAL MEDIA DEL UMBRAL

ANEXO F: CÓDIGO DEL ANÁLISIS DE EVENTOS EXTREMOS UTILIZANDO GDP

INDICE DE ABREVIATURAS

Umbral: Intervalo del nivel de precipitación optimo

GEV: Valor Extremo Generalizado

GDP: Distribución Generalizada de Pareto

EVT: Teoría de los Eventos Extremos

POT: Picos por encima del Umbral

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue analizar la distribución de probabilidad de los valores extremos, variabilidad y comportamiento. Para el estudio se utilizaron los registros meteorológicos de la estación Epoch (Escuela Superior Politécnica de Chimborazo), estos datos fueron analizados y validados considerando los umbrales establecidos por el GEAA (Grupo de Energías Ambientales y Alternativas), el análisis se llevó a cabo, mediante la técnica de la teoría de valores extremos. La precipitación es un fenómeno que se ha caracterizado por su gran variabilidad espacio temporal. Los Andes ecuatorianos, presentan en su distribución una variación extrema. Investigaciones realizadas anteriormente indican que Chimborazo ha demostrado una predisposición progresiva para las últimas décadas. Para Riobamba, se realizó el estudio de la variabilidad de precipitación durante 44 años es decir desde 1976 hasta el año 2019. En la base de datos se encontraron datos faltantes y la ausencia de datos inconsistentes. Se utilizó series temporales y se evidenció, que a las 7:00 existe mayor nivel de lluvia, seguido de las 19:00, con un promedio de 1.06 mm y 0.57 mm respectivamente, varianza de 14.63 mm, lo cual indicó que existe una gran variabilidad durante los 44 años de estudio. Para conocer la distribución se utilizó la teoría de valores extremos con un umbral máximo de 0.1mm, mediante la Distribución Generalizada de Pareto (GPD) se identificó que los sucesos extremos se ajustan a una Ley de Potencia y, finalmente se pronosticó mediante la interpolación de datos, el nivel de precipitación para los meses de febrero y abril obteniendo 1.9 mm y 2.45 mm, de esta manera se concluye que la probabilidad de ocurrencia de los sucesos extremos es alta. Es así que el nivel de precipitación ha aumentado en 4 mm por década. Se recomienda realizar más investigaciones orientadas en esta línea, dado que en el país existen muy pocas.

Palabras clave: < DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD >, <PRECIPITACIÓN >, < EVENTOS EXTREMOS>, <DISTRIBUCIÓN GENERALIZADA DE PARETO>

LUIS
ALBERTO
CAMINOS
VARGAS

Firmado digitalmente por LUIS
ALBERTO CAMINOS VARGAS
Nombre de reconocimiento
(DN): c=EC, o=RIOBAMBA,
serialNumber=0602756974,
cn=LUIS ALBERTO CAMINOS
VARGAS
Fecha: 2021.04.13 17:11:23
+05'00'



0997-DBRAI-UTP-2021

SUMMARY

The objective of the research was to analyze the probability distribution of extreme values, variability and behavior. For the study, the meteorological records of the ESPOCH station (Escuela Superior Politécnica de Chimborazo) were used, these data were analyzed and validated considering the thresholds established by the Alternative Energies and Environment Group (AEEG), the analysis was made, by means of the technique of extreme value theory. Precipitation is a phenomenon that has been characterized by its great space-time variability. The Ecuadorian Andes have extreme variation in their distribution. Previous research indicates that Chimborazo has shown a progressive predisposition for the last decades. For Riobamba, it was performed the study of variability of precipitation during 44 years, that is, from 1976 to 2019. Missing data and the absence of inconsistent data were found in the database. Time series was used and it was evidenced that at 7:00 there is a higher level of rain, followed by 19:00, with an average of 1.06 mm and 0.57 mm respectively, a variance of 14.63 mm, which indicated that there is a large variability during the 44 years of study. To know the distribution, the theory of extreme values with a maximum threshold of 0.1mm was used, by means of the Generalized Pareto Distribution (GPD) it was identified that extreme events conform to a Power Law and, finally, it was predicted by interpolation of data, the level of precipitation for the months of February and April obtaining 1.9 mm and 2.45 mm, in this way it is concluded that the probability of occurrence of extreme events is high. Thus, the level of precipitation has increased by 4 mm per decade. It is recommended to carry out more research oriented in this line, since there are very few in the country.

Keywords: <STATISTICS>, <PROBABILITY DISTRIBUTION>, <PRECIPITATION>, <EXTREME EVENTS>, <GENERALIZED PARETO DISTRIBUTION>

INTRODUCCIÓN

El Clima es un tema cotidiano que implica y afecta a todos los seres humanos. La precipitación es uno de los factores principales del ciclo hidrológico y su comprensión es indispensable para los modelos de pronósticos, estimación de áreas diferenciadas, así como datos de entrada en modelos de cuencas, entre otros. La modelación de los patrones espaciales es relevante tanto para las ciencias de la atmósfera como para las de la tierra, en especial para la hidrología. La estimación de la cantidad y la distribución espacial de lluvia mensual y anual son las entradas críticas a una variedad de modelos hidrológicos y ecológicos (Daly et al., 1994, p. 140-158).

La variabilidad climática es aquella que mide las condiciones que presentan las variaciones del estado medio y también hace el estudio de diferentes estadísticos como son: desviación estándar, presencia de sucesos extremos, etc., del clima, tanto en escala espacial como temporal, esto cuando superen los estándares que presentan los fenómenos meteorológicos. Esta variabilidad se presenta por diversos procesos los cuales pueden ser originarios del régimen climático (variabilidad interna) o variaciones de las coacción exteriores, ya sean por orígenes naturales o en otro caso antropogénica (variabilidad externa). (Agencia Estatal de Meteorología del Gobierno de España, 2016).

Uno de los factores que más influencia tiene en el clima es la temperatura que presenta la superficie en el Pacífico tropical, central y oriental, está a través de los años ha oscilado entre condiciones extremas cálidas (El Niño) y frías (La Niña) (Cajas y Violeta, 2019).

La precipitación en el ciclo hidrológico es considerada como el elemento básico, a más de ser responsable de la deposición de agua dulce en el planeta. Esta agua es utilizada tanto para la humanidad como para los ambientes naturales (Muñoz et al., 2016).

La situación climática en el planeta ha sufrido cambios, desde mediados del siglo XIX especialmente debido al avance industrial, provocando un incremento notable en su variabilidad. Debido al calentamiento global ha dado un aumento en el porcentaje de energía y humedad en la atmósfera y como consecuencia de los conocidos gases efecto invernadero, se ha producido cambios heterogéneos de temperatura, ocasionando mayor dureza en eventos extremos como es el caso de la precipitación (Pabón, 2003, p. 111-119).

El conocimiento que se tiene del comportamiento climático en el Ecuador es gracias a las estaciones meteorológicas que se encuentran distribuidas a lo largo del país, y que por su ubicación geográfica es afectada constantemente por los diferentes métodos sinópticos que

sucedan en el transcurso del año, los mismo que tienen la función de regular al clima y su variabilidad estrechamente relacionada con los cambios de la precipitación (Pabón, 2000, p. 7-21).

La teoría de extremos se utiliza para demostrar que la frecuencia de los eventos depende relativamente de la variabilidad (parámetro de escala) que en la media (parámetro de ubicación) del clima. Además, esta sensibilidad es relativamente mayor cuanto más extremo es el suceso. Estos resultados brindan apoyo adicional a las conclusiones de que los experimentos que utilizan modelos climáticos para detectar cambios en la variabilidad climática, y que el análisis de políticas no debe basarse en escenarios de clima futuro que involucren solo cambios en las medias (Katz y Brown, 1992, p. 289-302).

Es indiscutible que la variabilidad meteorológica, de inestabilidad se presenta en la precipitación, la cual afecta de diversas formas a las actividades que los seres humanos realizan, causando de forma directa impactos socioeconómicos y climáticos de grandes proporciones (Pabón, 2000, p. 7-21).

Es así que en este trabajo de investigación sobre el comportamiento, variabilidad y distribución de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica de la Espoch durante 1976 hasta 2019, se realizó mediante la teoría de los valores extremos, dado que dichos sucesos actúan como un catalizador sobre si el clima está cambiando.

En el capítulo uno se detalló los antecedentes y objetivos planteados, a su vez se formuló el planteamiento de problema; y la justificación. También se describen las bases teóricas aplicadas y estudiadas.

En el capítulo dos se describe la metodología utilizada, tipo de investigación, diseño, la zona de estudio, se planteó la utilización de las técnicas estadísticas acordes a los objetivos, la operacionalización de las variables, la escala en la que fue obtenida la información, al igual que la unidad de medida.

En el capítulo tres se detallan los resultados encontrados luego del análisis de la información donde se observó la alta variabilidad de la precipitación, la ley de distribución que exhibió los sucesos extremos, la cual se obtuvo mediante el GPD (Distribución Generalizada de Pareto), se realizaron pronósticos para febrero y abril por ser los meses con mayor niveles de lluvias, para esto se utilizó la técnica de la interpolación de datos Todo el análisis se hizo en R Studio, dado

que este brinda una gama amplia de paquetes como POT y ercv, útiles específicamente para análisis de eventos extremos en meteorología.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEORICO REFERENCIAL

1.1. Antecedentes

El agua es uno de los elementos principales para el proceso de la existencia de la vida en el mundo, y pese a que este elemento ocupa las dos terceras partes del área del planeta, no es suficiente para el consumo de los seres vivos, por lo que, su disponibilidad en la actualidad y en el futuro, viene siendo una de las principales preocupaciones a nivel mundial (Pourrut, 1995; UNESCO-WWAP, 2007).

En el siglo XXI, es más notorio el incremento en el suceso de eventos hidrometeorológicos extremos, que por lo general siempre son afines a la inestabilidad que muestra el clima (Quintero et al., 2012). Es limitada la información que se tiene sobre la variabilidad climática para las zonas montañosas, debido a la insuficiente recolección de datos (escasas redes de monitoreo) y a la diversidad que presenta. (Celleri et al., 2007, p. 3316-3327; Morocho, 2019, p. 3-4).

Investigaciones elaboradas por Rollenbeck y Bendix (2011), revelan que los Andes ecuatorianos presentan exagera variabilidad en la distribución espaciotemporal de las lluvias, esto sin la existencia de un solo dispositivo que genere la precipitación, si no la ejecución de un sin número de procesos (Rollenbeck y Bendix, 2011, p. 277-289).

Pocas personas preguntan sobre la variabilidad climática del país. Un estudio realizado en el área metropolitana de Quito mostró que se exploró la variabilidad de la precipitación y el comportamiento de las tendencias (Serrano Vincenti et al., 2012, p. 23). Recientemente, el INAMHI (2017) exhibió un informe que mostró que la distribución de las precipitaciones en la región interandina presentan un comportamiento desigual, por lo que el valor registrado en la región norte superó el índice normal, mientras que la situación contraria ocurrió en la región sur. Digamos un valor que no alcance el índice normal, lo que producirá un cambio negativo (Morocho, 2019, p. 3-4).

Según información del CIIFEN (2014) (Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno del Niño) utilizo las series diarias de precipitación y temperatura de las 19 estaciones meteorológicas que se encuentran distribuidas en Ecuador a partir 1965 hasta 2010 para estudiar sucesos climáticos extremos. Utilizando R se dedujeron 27 índices para cada sitio. Los resultados divulgados contienen el aumento en el valor de la temperatura máxima y la disminución en el valor mínimo en la Sierra. El rango disminuye y aumenta la severidad de las lluvias extremas en

el centro y sur de la Sierra y en cierto sitio a lo largo de la costa (CIIFEN, 2014, p. 45; Morocho, 2019, p. 3-4).

La precipitación es un fenómeno diferenciado por su alta variabilidad espaciotemporal (Chen et al., 2015, p. 243-255) además de que presentan los recursos hídricos, estos cambios tienen un impacto directo en la hidrología y en la disponibilidad del agua (Buttafuoco et al., 2011, p. 3-13).

En las zonas montañosas la comprensión de la variabilidad climática es mínima debido a la escasez de datos, esto se debe a que existe una baja consistencia de redes de vigilancia y a la heterogeneidad del terreno. Los Andes tropicales comparte varias de sus tipologías en general (Celleri et al., 2007, p. 3316-3327).

El páramo es un ecosistema alpino neo-tropical que cubre el territorio más alto de los Andes del norte, extendiéndose desde el Perú hacia Ecuador, Colombia y Venezuela cubriendo cerca de 35000 km² (Buytaert et al., 2003, p. 1-26). La distribución temporal y espacial que presenta la precipitación de los Andes ecuatorianos muestra alta variabilidad. No existe un único mecanismo de lluvia, sino que muchos procesos que interactúan entre sí (Rollenbeck y Bendix, 2011, p. 277-289).

El más antiguo de las normas pluviométricas aplicables en el Ecuador, fue hecho en el marco de la regionalización agro-pastoral, manipulando las estaciones características que disponían de archivos suficientemente detallados que facilitan una información estadística sintética a nivel nacional y plantea una partición zonal que permita estimar el valor de los datos faltantes que las series presenten, con una precisión aceptable. El más reciente de los métodos (regionalización de las pluviometrías en el Norte del Ecuador), limitado geográficamente a una gran cuenca hidrológica, fue realizado en el contexto de los trabajos destinados a proporcionar ciertos elementos de planificación del riego; apoyándose en la utilización de un vector regional, establece una zonificación pluviométrica más exacta que la anterior (Nouvelot et al., 1995, p. 27-66).

1.2. Planteamiento del Problema

Investigaciones anteriores revelaron que el nivel de lluvias en la provincia de Chimborazo ha variado, mostrando una tendencia crecimiento en los últimos períodos (décadas), por lo que se desea conocer la distribución estadística de las precipitaciones extremas, mediante la utilización de la técnica de la teoría de valores extremos.

1.2.1. Enunciado del problema

Conocer la distribución estadística de la precipitación mediante la teoría de valores extremos, con el fin de caracterizar dicha variable, incrementar la probabilidad de prever temporales de amenaza como inundaciones, desbordamiento de canales de riego, etc., en la zona de estudio.

1.2.2. Formulación (Incógnita)

Cuál es la distribución estadística de las precipitaciones extremas registradas en la estación meteorológica de la Espoch.

1.3. Justificación

La presente investigación se enfocó en estudiar la distribución estadística de la precipitación en la estación meteorológica de la Espoch, debido a los recientes cambios climáticos, el comportamiento de este fenómeno se ha visto modificado. Los cambios en el estado de la atmósfera, son cada vez más indiscutibles y todo apunta, que la causa es la acumulación de gases de efecto invernadero, todo esto gracias a las acciones humanas, de esta manera las temperaturas del aire y del océano han aumentado, sin exceptuar que algunos de estos sucesos acontecen como parte del cambio natural, debido a esto se han registrado eventos inusuales en todo el mundo (Bradley et al., 1987, p. 171-175; Morocho, 2019, p. 3-4).

De igual manera ocurre con la precipitación, ya que a partir del siglo XX, la precipitación global ha ido acrecentando cerca de un 2%, principalmente en el hemisferio norte y áreas continentales, lo cual revela un aumento estadísticamente significativo, pero sin firmeza espacial (González et al., 2008, p. 38-55; Morocho, 2019, p. 3-4).

Tomando en cuenta los principios naturales y antrópicos del clima, el cambio climático presenta gran impacto en diversos aspectos del medio ambiente: sociales, económicos y políticos (Cortés Cortés, 2010, p. 20-22; Morocho, 2019, p. 3-4).

El cambio climático de la región Andina podría provocar en los recursos hídricos y en el ecosistema grandes impactos haciendo que eventos extremos sucedan como el alargamiento de la temporada de sequía o grandes intensidades en la precipitación las cuales podrían derivar en crecidas e inundaciones (Mora et al., 2012), es por ello que se han proyectado en relación a volúmenes anuales, frecuencia de días con lluvia e incremento en intensidades de los eventos (Mora et al., 2014, p. 631-648). Es de suma importancia obtener mayor información y conocimiento, esto con el fin de

realizar más proyecciones y simulaciones climáticas de mejor calidad (Mora y Willems, 2012, p. 267-282).

El ecosistema terrestre que presenta la zona sur del Ecuador se encuentra fuertemente afectado por las variaciones del clima que vienen ocurriendo en este último tiempo. La precipitación constituye la fuente de entrada más importante de nutrientes inorgánicos en el ecosistema de bosque montano tropical (Rollenbeck, Fabian y Bendix, 2006, p. 73-76).

Por esta razón, se realizó este trabajo de investigación, que permitió conocer el comportamiento y distribución, con el fin de identificar posibles eventos que pudieran causar algún desastre natural en la zona de estudio.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Analizar la variabilidad de la precipitación a partir de los datos de la estación meteorológica de la Espoch, aplicando la teoría de valores extremos.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Validar los datos de precipitación registrados por la estación meteorológica Espoch.
- Realizar un análisis exploratorio de los datos.
- Examinar el cambio del régimen pluviométrico ocurrido en la zona de estudio mediante la técnica de valores extremos.
- Predecir las precipitaciones para los meses con elevadas frecuencias de valores extremos.

1.5. Bases Teóricas

La precipitación puede ser sólida o líquida como por ejemplos: la lluvia, la llovizna, el granizo y la nieve, mismas que bajan hacia la superficie terrestre. Para que esta se forme es necesario la elevación de una masa de agua en la atmósfera a tal magnitud que ésta se enfríe y una parte de su humedad se condense. Los mecanismos para la elevación de masas de aire puntualizan el tipo al que pertenecen, se distinguen tres principales: frontal, orográfica y convectiva (Chow, Maidment y Mays, 1994).

La precipitación presenta variaciones en el espacio y el en tiempo, todo esto de acuerdo con el patrón general de circulación atmosférica y con los factores locales (Chow et al., 1994). Conocer la distribución y su variabilidad espacio temporal es de suma importancia al momento de realizar planeamientos e investigaciones de los recursos hídricos (Villela et al., 1975, p. 245).

A causa de los cambios que el planeta ha sufrido, en los últimos años se presentaron sucesos inusuales a nivel mundial (Bradley et al., 1987, p. 171-175). Esto debido a la variabilidad que el clima presenta. Es necesario que todas las medidas que se tomen al momento de realizar una planificación ya sea esta económica, social o ambiental, deben tomar en cuenta las componentes climáticas las cuales afectan de gran manera a lo planificado.

De acuerdo con la Primera Comunicación Nacional, MAE (2000), Ecuador es enormemente vulnerable al cambio climático, esto debido no solo a su ubicación geográfica y topográfica, sino también por la alternancia de fenómenos periódicos. Se espera que el aumento de la temperatura, sequías e aluviones frecuentes y los cambios en los patrones de precipitación tengan un impacto de gran importancia en el país (Muñoz et al., 2010, p. 1-78; Morocho, 2019, p. 3-4).

Realizar pronósticos de precipitación es fundamental para optimizar el manejo de los recursos hídricos con los que se cuentan, tanto en proyectos de aprovechamiento como en reducción de riesgos. Todo esto debido a la alta variabilidad que presenta, es tomado como un reto el realizar un buen pronóstico. En la actualidad existen diversas técnicas estadísticas con las que se realizan como por ejemplo: series de tiempo (Urdiales y Céleri, 2018, p. 29-41).

En las zonas montañosas como los Andes, la densidad de la red de pluviómetros a menudo es dispersa o en muchos de los sectores pobre. Por este motivo es muy complicado proporcionar una adecuada estimación de la precipitación, por lo que el mejoramiento y ampliación de estas redes constituye un tema de gran relevancia para una adecuada gestión ambiental y de los recursos hídricos. (Contreras et al., 2017, p. 115-124)

Chimborazo se halla situada en el centro del país entre las cordilleras oriental y occidental del Ecuador, su ubicación puede constituir 13 biósferas (MAE, 2011) y de una diversidad de pisos climáticos que permiten el desarrollo de actividades productivas asentadas principalmente en el valle central. Esta diversidad climática, permite el cultivo de productos de zonas frías como papas, trigo y cebada, de zonas templadas como maíz y fréjol y de zonas tropicales como caña de azúcar, banano y cacao (Sugawara y Nikaido, 2014, p. 7250-7257).

Por otro lado, existe un consenso científico referente a la alteración del clima global, a pesar de la incertidumbre que caracteriza a estas proyecciones de modelos computacionales a nivel global y regional (Jiménez y Yépez, 2012). De acuerdo a la Segunda Comunicación Nacional sobre Cambio Climático SCNCC del Ecuador y basados en información del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología INAMHI, se señala un incremento en la temperatura media, máxima y mínima anual en todo el territorio nacional, con algunas excepciones en ciertas zonas. De la información disponible de 39 estaciones analizadas entre 1960 y 2006, presento una media anual en el Ecuador la cual incrementó en 0,8 °C, la máxima absoluta en 1,4 °C y la mínima absoluta en 1,0 °C. (MAE, 2011; Morocho, 2019, p. 3-4).

En el caso de la precipitación a nivel nacional, la variación es diferenciada por la región del país sin que se observe un patrón uniforme. Para la sierra la SCNCC reporta un incremento del 8% entre los años 1960 y 2006 (MAE, 2011).

En la provincia de Chimborazo se observa un patrón diferente entre la zona norte y centro sur, el área norte presento un ligero incremento y en la superficie centro sur un descenso en los valores de lluvia. Esta variabilidad climática local determina en el territorio patrones de producción, distribución de ecosistemas y disponibilidad de agua para las poblaciones locales (Elith et al., 2006, p. 129-151).

Por lo antes expuesto, es necesario establecer un método de cambio climático para el nivel hidrológico del año 2050 en la provincia de Chimborazo, con el fin de contribuir en la generación de nuevas políticas agrícolas y productivas que permitan a la población enfrentar los cambios climáticos en la zona (Bustamante, 2017, p. 15).

1.6. Bases Conceptuales

1.6.1. Precipitación

La precipitación se describe como cualquier forma de lluvia, nevisca y otros métodos mediante el cual el agua baja de la atmosfera hacia la superficie terrestre. Para esto es ineludible elevar la masa de agua al cielo, enfriarlo y una parte de su humedad se condense. Las formas más comunes son la lluvia, llovizna, granizo y la nieve. La forma que puede obtener dependerá mucho de la temperatura ya que si se encuentra por debajo del congelamiento se formaran cristales de hielo (Chow et al., 1994).

La precipitación presenta variabilidad tanto en el espacio como en el tiempo, esto de acuerdo a los patrones generales de movimiento atmosférico y factores locales (Chow et al., 1994). Comprender e intuir la distribución de los cambios temporales y espaciales de la lluvia es de suma importancia, ya que a partir de esta información se podrá trazar estudios hidrológicos (Villela and Mattos, (1975), p. 245).

1.6.1.4. Umbral

El umbral es el punto en el cual existe un cambio brusco, en una propiedad, forma en este caso de la precipitación (Reichenbach et al., 1998, p. 146-159). Estos pueden ser empíricos o de bases físicas, el primero se utiliza o es reconocido en base al área donde se realiza el levantamiento de la información es decir el área de estudio, mientras que los físicos son aquellos que se obtienen mediante modelos numéricos que toman en cuenta en relación al fenómeno en estudio (Aleotti, 2004, p. 247-265; Wang y Sassa, 2006, p. 235-247).

1.6.2. Cambio Climático

De acuerdo a (Crowley, 1988) menciona que “ un cambio climático significativo y duradero a lo largo de la historia, ya sea este a escala regional o mundial, con diferentes parámetros meteorológicos. Las razones son varias y pueden ser naturales: el proceso oceánico, cambio en la radiación solar, erupciones volcánicas etc.” (Morocho, 2019, p. 3-4)

1.6.3. Variabilidad Climática

El clima varía en escalas de tiempo y espacio. Desde tiempos atrás se han venido presentando fluctuaciones del clima en distintos niveles. Dichas oscilaciones se producen por lo general, por alteraciones en la forma de interacción entre las diferentes método atmosférico y por cambios en los elementos radiactivos (Pabón et al., 2000, p. 7-21).

La climatología normal o valores normales, es utilizado para determinar y compara el clima; por lo general este representa el valor promedio de una sucesión continua de mediciones de una mudable climatológica, en un periodo no menor a los 30 años. A los datos que presenta una diferencia entre el valor registrado y su promedio se los conoce como “Anomalías”, a lo largo de la toma de datos climatológicos (temperatura, precipitación, etc.) oscilan ya sea por encima o por debajo de lo normal. Estas cadenas de fluctuaciones cerca de los valores normales, son denominados como variación climática y su apreciación se logra a través el análisis de anomalías (Montealegre, 2014, p. 1-134).

1.6.4. Provincia de Chimborazo

La provincia de Chimborazo que se encuentra ubicada en la región andina del Ecuador, posee una topografía irregular, con abundantes áreas de flora, su altitud varía entre los 160 msnm y 6310 msnm. Gracias a su complicación atmosférica presenta una variedad de micro climas y épocas de alta pluviosidad (Ayala et al., 2014, p. 251-261). Según (Yepez, 2012, p. 65) la provincia se caracteriza por presentar lluvias abundantes, granizo y climas nublados. (Morocho, 2019, p. 3-4)

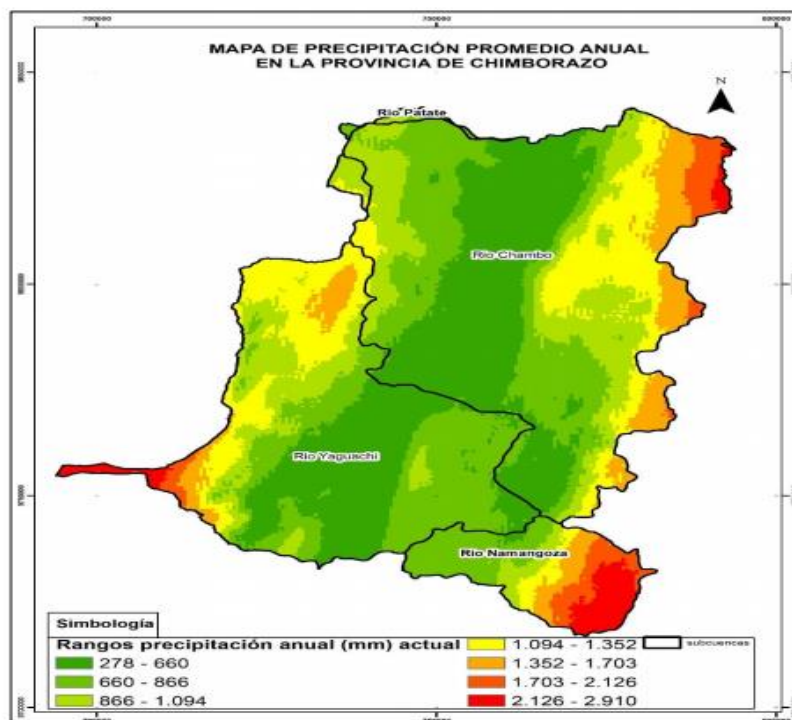


Figura 1-1. Mapa de la precipitación de Chimborazo promedio anual

Fuente: Calderón, 2017

En la figura 1.1 se muestra el promedio anual que se observó en la provincia de Chimborazo durante el periodo de 1971-2000.

1.6.5. Ciudad de Riobamba

La ciudad de Riobamba o también conocida como la sultana de los andes se encuentra ubicada en la zona central del Ecuador, presenta una topografía irregular y una altura sobre el nivel del mar de 2600 y 4447 msnm (Morocho, 2019, p. 3-4). Según (Ministerio del Ambiente Ecuador, 2017) el cantón suele presentar un clima frío con épocas húmedas y secas, con una temperatura que promedia los 14° C y lluvias de 423 mm anualmente (Morocho, 2019, p. 3-4).

1.6.5.1. Estación Meteorológica

La estación meteorológica es una instalación que se utiliza para medir y registrar la información captada de forma regular de las diferentes mudable, como son la precipitación, humedad, temperatura, etc. Esta información recolectada es utilizada para realizar diversos análisis como por ejemplo predicciones, para elaborar mapas climáticos, en pocas palabras se utiliza para poder determinar el tiempo y clima de una determinada zona de estudio (Orts et al., (2017)).

1.6.5.2 Coordenadas de la Estación Meteorológica de Estudio

La estación meteorológica de donde se consiguió la información se halla situada en la Espoch, específicamente en la Facultad de Recursos Naturales, su ubicación geográfica es: Longitud: -78.650000, latitud -1.650000 Altura 2740m



Figura 2-1. Estación meteorológica de la ESPOCH vista desde el espacio

Fuente: GOOGLE EARTH, 2019

1.6.6. R-Studio

El software estadístico R Studio es un entorno principalmente diseñado para el proceso de datos, cálculo y desarrollo gráfico. Admite trabajar con desenvoltura con vectores y matrices y ofrece diversas herramientas para el análisis de datos. El lenguaje de programación R forma parte del proyecto GNU, es de código abierto, lo cual hace referencia a la libertad con la que cuentan los usuarios para ejecutar, copiar, distribuir, estudiar, cambiar y mejorar el mismo (Bande et al., 2010, p. 102).

1.6.7. Homogenización de datos

Homogenizar datos es verificar la validez de la información con la cual se va a trabajar, donde se retiran los datos que se encuentren alejados de la realidad, también se procede a corregir los errores detectados y a su vez se resaltan los valores anormales (Kiktev et al., 2003, p. 3560-3571).

Por lo general la heterogeneidad de los datos que se obtiene se da por la ubicación del equipo de medición, cambios que se producen en los sistemas de observación o causados alrededor de las estaciones de estudio (Hernández García et al., 2012, p. 409-419).

Se considera como serie homogénea cuando la variable responde únicamente a orígenes climáticos. El IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático o Panel Intergubernamental del Cambio Climático), dispone que las series con las cuales se va a trabajar deben estar completas y homogéneas, para acceder al estudio de la variación climática. (Hernández García et al., 2012, p. 409-419).

1.6.8. Análisis Exploratorio

El análisis exploratorio de los datos se lo ejecuta con la firme intención de poder identificar el modelo teórico apropiado para la investigación. Este estudio se basa en obtener las estadísticas básicas como: la media, mediana, varianza, moda, etc. También permite identificar pautas como: outliers, discontinuidades o la forma que posee la distribución, esto a su vez pueden ser presentados gráficamente.

1.6.8.1. Media

El promedio o media, es una medida de tendencia central la más conocida y utilizada es la media aritmética. Se lo representa con la letra griega μ cuando esta se refiere al promedio poblacional y por $\bar{\mu}$ cuando se trata del promedio muestral. Cabe dejar en claro que μ es un valor fijo, mientras que $\bar{\mu}$ es variable, puesto que se pueden extraer diferentes muestras y esto hará que el valor cambie. La media se expresa en la misma unidad de medición que los datos originales (Quevedo, 2011, p. 1-6).

$$\bar{\mu} = \frac{Y_1 + Y_2 + \dots + Y_i}{n} \quad (1)$$

Donde:

Y_1 Es el valor de la variable en su primera observación.

Y_2 Es el valor de la variable en la segunda observación.

Y_i Representa el valor de la i-ésima observación.

n_i Representa el número de observaciones

De esta fórmula se parte hasta la formula general del promedio

$$\bar{\mu} = \frac{\sum_{i=1}^n x}{n} \quad (2)$$

1.6.8.2. Mediana

La media es otra de las medidas de tendencia central, es el valor de la variable que ocupa la posición central, esto cuando los datos se disponen en orden de magnitud. Esto se refiere a que el 50% de las observaciones se encontraran por debajo de la mediana y el otro 50% por encima. Si el número es par, la mediana corresponde al promedio de los dos valores centrales (Quevedo, 2011, p. 1-6).

1.6.8.3. Moda

La moda viene definida como el valor que la variable presenta con más frecuencia, una muestra puede presentar más de una moda (Quevedo, 2011, p. 1-6).

1.6.8.4. Varianza

La varianza es una medida de dispersión, la cual es empleada al momento que se desea conocer o representar la variabilidad que puede presentar la o las variables con respecto a la media aritmética.

$$Var(X) = \frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{N} = S^2 \quad (3)$$

Donde:

N Representa el número total de observaciones de la variable.

x Representa los datos utilizados para el cálculo de la varianza.

\bar{x} Representa la media aritmética calculada de los datos.

1.6.8.5. Desviación Estándar

La desviación estándar o también conocida como (desviación típica) es una medida dispersión al igual que la varianza, solo que esta nos permite determinar el promedio aritmético de fluctuación que puede presentar la variable con relación al punto central o también conocido como la media.

$$S = \sqrt{S^2} \quad (4)$$

Donde:

S^2 Es la varianza obtenida de los datos de la variable.

1.6.9. Imputación de datos

Según (Medina y Galván, 2007, p. 84) “Durante la década de los setenta, la imputación de datos significaba identificar y sustituir los registros sin información. En ese contexto, los procedimientos hot-deck, en sus distintas variantes, se aplicaban profusamente para suplir información en censos y encuestas, y los métodos de ajuste por promedios y cold-deck eran frecuentemente utilizados”.

La imputación es una técnica estadística con la que se rellenan las bases de datos, ya que si se tiene algún dato faltante, esto será un problema al momento del manejo y estudio de la información, existen diversos métodos, entre los cuales se encuentra la imputación por la media.

1.6.9.1. Imputación de datos mediante las medias incondicionales

Consiste en rellenar un dato no observado X_{ij} por la media aritmética simple de los valores observados de la variable \bar{x}_j . Este método, aunque es extensamente utilizada, tiene diversas desventajas como: invalida las estimaciones de la varianza derivadas de las fórmulas estándar para conocer la verdadera variabilidad, la distribución real resulta distorsionada por la sustitución de los datos ausentes por la media, y modifica la correlación observada dado que estos serán reemplazados por un único valor (Ferreira, 2005, p. 8).

1.6.9.2 Paquete Mice

Utiliza la especificación de condición completa (FCS) implementada para múltiples interpolaciones Mediante el algoritmo MICE (interpolación múltiple de ecuaciones en cadena). Cada variable tiene su Modelo de atribución propio. Proporcionar un modelo de imputación incorporado para obtener datos. Continuo (bpm), datos binarios (regresión logística), datos categóricos desordenados (regresión Múltiples conjuntos de lógica) y datos de clasificación ordenados (probabilidades proporcionales). La interpolación pasiva se puede utilizar para mantener la coherencia entre las variables. Algunas fotos de Diagnosticar para comprobar la calidad de la imputación(Castro, 2014, p. 53).

1.6.10. Datos Atípicos

Los atípicos son observaciones que simulan desviarse marcadamente de los demás datos de la muestra (Grubbs, 1969, p. 1-21)., también pueden surgir por errores en los sensores o al momento de registrar la información obtenida, estas faltas pueden llevar a obtener resultados de forma errónea, es decir los outliers afectan de forma significativa al desempeño de los algoritmos de minería de datos (Patel y Mehta, 2011, p. 331-336).

Según Aggarwal dice “Un valor atípico es una observación que se desvía tanto de las otras observaciones como para despertar sospechas de que fue generado por un mecanismo diferente” (Aggarwal, 2015, p. 237-263).

1.6.11. Teoría de Valores Extremos

Sean X_1, \dots, X_n variables aleatorias independientes e idénticamente distribuidas, con función de distribución F . Sea el máximo de las observaciones $M_n = \max \{X_1, \dots, X_n\}$ El teorema de Fischer Tippet (Reiss y Thomas, 1997) indica que:

$$\left[\lim_{n \rightarrow \infty} P \left(\frac{M_n - a_n}{b_n} \leq z \right) \rightarrow G(z) \right] \quad (5)$$

Donde:

$\{a_n\} \in \mathbb{R}$ y $\{b_n > 0\}$; $G(z)$ es llamada la Distribución de Valore Extremo Generalizada (DVEG), definida por:

$$G(z) = \exp \begin{cases} - \exp \left[- \left(\frac{z - \mu}{\sigma} \right) \right], \xi = 0 \\ \exp \left\{ - \left[1 + \xi \left(\frac{z - \mu}{\sigma} \right) \right]^{-\frac{1}{\xi}} \right\}, \xi \neq 0, 1 \\ + \xi \left(\frac{z - \mu}{\sigma} \right) > 0 \end{cases} \quad (6)$$

Donde:

μ Es el parámetro de localización, σ es el parámetro de escala y ξ es el parámetro de forma.

Según el límite de DGEV (1), cuando $\xi \rightarrow 0$, es llamada distribución Gumbel, la distribución Fréchet con $\xi > 0$ y la distribución Weibull con $\xi < 0$.

1.6.11.1. Primer teorema fundamental.

Este teorema radica en la caracterización de la distribución del estadístico de orden: máximo. Esta viene expresado por la distribución de los valores extremos generalizados (GEV)(Mochales, 2013).

Definición 1.6.11.1. (GEV: Valor Extremo Generalizado). La función de distribución de la GEV estándar viene dada por:

$$H(x; \xi) = \begin{cases} \exp(-(1 + \xi x)^{-\frac{1}{\xi}}) & , \xi \neq 0 \\ \exp(-e^{-x}) & , \xi = 0 \end{cases} \quad (7)$$

Donde:

$1 + \xi x > 0$. La familia tri-paramétrica GEV corresponde a la familia de distribuciones descritas por:

$$H(x; \xi, \mu, \sigma) = H\left(\frac{x-\mu}{\sigma, \xi}\right) \quad (8)$$

con $\mu \in \mathbb{R}$ un parámetro de localización y $\sigma > 0$ un parámetro de escala.

ξ es conocido como parámetro de forma (shape) y la GEV es la unificación de tres familias que se pueden identificar por el parámetro de forma: Fréchet (si $\xi > 0$), Gumbel (si $\xi = 0$) y Weibull (si $\xi < 0$)(Mochales, 2013).

Para x fijo,

$$\lim_{\xi \rightarrow 0} H(x; \xi) = H(x; 0) \quad (9)$$

lo cual hace que el uso de estas familias sea más sencillo en la modelización estadística. Este límite se cumple por los dos lados a pesar que $\xi < 0$ corresponda a distribuciones con soporte compacto (Mochales, 2013).

El papel que cumple la familia GEV en la teoría de valores extremos es similar al que cumple la distribución normal en la teoría sobre el límite de suma de variables. Más concretamente, dado X_1, \dots, X_n v. a. i. d con distribución dada por F y sea $S_n = X_1 + \dots + X_n$ su suma, entonces la distribución normal estándar caracteriza la distribución de S_n (debidamente estandarizada) cuando n tiende a infinito. Si considera $M_n = \max(X_1 + \dots + X_n)$ su bloque de máximos, entonces la distribución de GEV estándar caracteriza la distribución de M_n (debidamente estandarizada) cuando n tiende al infinito (Mochales, 2013).

Recalcamos que:

$$P(M_n \leq x) = F^n(x) \quad (10)$$

1.6.11.2. Segundo teorema fundamental.

El segundo refinamiento que se realizó a la teoría de valores extremos parte de considerar no solo el bloque máximo sino la distribución de todos los valores que superen el umbral fijado para el estudio (Mochales, 2013).

Definición 1.6.11.2.1 (GPD: Distribución Generalizada de Pareto). La distribución de Pareto generalizada (GPD) introducida por Pickands(1975) es la familia bi-paramétrica de funciones de distribución (Mochales, 2013).

$$G(x; \xi, \psi) = \begin{cases} 1 - (1 + \xi x/\psi)^{-\frac{1}{\xi}}, & \xi \neq 0 \\ 1 - \exp(-x/\psi), & \xi = 0 \end{cases} \quad (11)$$

Donde:

$\xi \in \mathbb{R}$ y $\psi > 0$, son los parámetros de forma y escala respectivamente. Para $\xi < 0$ el rango de x es $0 < x < -\frac{\psi}{\xi}$ y $x > 0$ para $\xi > 0$. Denotado por $g(x; \xi, \psi)$ los elementos de la correspondiente familia de funciones de densidad.

Observación 1.6.11.2. Para una v. a. X con función de distribución en la familia GPD expresa la esperanza con $E(X) = \psi/(1 - \xi)$.

Y la varianza por $V(X) = \psi^2 / ((1 - \xi)^2 (1 - 2\xi))$ siempre que $\xi < 0.5$ puesto que el r -ésimo momento es finito si i solo si $\frac{1}{\xi} > r$.

Definición 1.6.11.2.2 (función de distribución de los excesos). Sea X una v. a. con distribución F y sea $\mu > 0$ un umbral fijado. Denotado X_u los valores trasladados a 0 de la variable X que exceden un umbral μ .

$$(X - \mu | X > \mu) \quad (12)$$

Y del mismo modo, dada una muestra $x = \{x_1, \dots, x_n\}$, denotada por x_u la muestra truncada en μ y trasladada al 0,

$$\{x_i - \mu | x_i > \mu\} \quad (13)$$

La distribución de X_u viene dada por:

$$F_\mu(x) = P(X - \mu \leq x | X > \mu) = \frac{F(x+\mu) - F(\mu)}{1 - F(\mu)} \quad (14)$$

Para $0 \leq x_F - \mu$, donde $x_F < \infty$ denota el limite derecho de la distribución F .

1.6.12. Modelación estadística de los valores extremos

La modelación de los valores extremos ha sido beneficiada durante un largo periodo de años por metodologías y técnicas provenientes de muchos contornos de las ciencias. Este elemento primordial de la modelación de extremos es análogo a la teoría de estadística ordinaria. Utilizando tanto el valor esperado como la varianza para de representar de esta manera la distribución de una variable, mientras que para la teoría de los valores extremos, se manejó el índice de colas, sin dejar de lado que este está determinado por el parámetro de forma $\xi \in \mathbb{R}$ el cual determina tanto los bloques de máximos como los excesos de un umbral (Mochales, 2013; Serrano et al., 2012, p. 23).

1.6.12.1. Método POT

Picos por arriba del Umbral (POT), este modelo enlaza la analogía entre la distribución empírica y un umbral fijo como el conjunto de exceso que sucedió. En este modelo se debe tomar en cuenta que los excesos para los valores negativos deben ser siempre null (Mochales, 2013; Serrano et al., 2012, p. 23).

Sea X_1, \dots, X_n una muestra, μ un umbral fijo y sea F la distribución que utilizaremos para modelar los excesos, se toma a μ como el umbral de enlace. La distribución que modela nuestros datos con la metodología POT es.

$$F^{POT,\mu}(x) = \begin{cases} \frac{n_x}{n} & , x \leq \mu \\ \frac{n_\mu}{n + (1 - \frac{n_\mu}{n})F(X-\mu)} & , x > \mu \end{cases} \quad (15)$$

Donde:

$n_s = \{X_i | X_i \leq s\}$ Utilizar GPD como familia para modelar los excesos es el método más utilizado ya que teóricamente coexiste un umbral a partir del cual los convenios para avalar valores extremos son verdaderamente buenos (Mochales, 2013; Serrano et al., 2012, p. 23).

1.6.13. Predicciones mediante interpolación de datos

Interpolación es un proceso con el cual se utilizan mediciones ya realizadas de algún fenómeno (precipitación, temperatura o elevación), a partir de estas se pueden realizar predicciones sobre la ocurrencia de dicho evento, una de las razones por las que se utiliza es por el costo. Es importante conocer que se puede hacer interpolaciones de un punto a otro punto, líneas, áreas o superficies. Para general las predicciones se deben tomar el valor de probabilidad antes encontrado con la GDP

- Como primer paso, se debe ordenar las precipitaciones de mayor a menor (x_1, x_2, \dots, x_n).
- Segundo paso se procede a codificar las precipitaciones (1,2,3, ..., n).

Fórmula para el cálculo de las probabilidades de precipitación

$$P = \frac{100 * m}{N + 1}$$

Donde:

m es el número de codificación

N es el número total de observaciones de precipitación (años)

Fórmula para el cálculo de la predicción

$$x = \frac{x_{ij} * P}{P_{ij}}$$

Donde

x_{ij} es la diferencia entre $x_{max} - x_{min}$

P_{ij} es la diferencia entre $P_{max} - P_{min}$

P es la diferencia entre $P_{e.v} - P_{min}$

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Tipo de Investigación

Esta investigación se clasifica de la siguiente manera:

Por el método de investigación cuantitativa, ya que se trabajó con datos numéricos, registrados por la estación meteorológica de la ESPOCH, según el objetivo aplicada ya que se centró en aplicar la teoría de valores extremos, para analizar la distribución de precipitaciones extremas y proporcionar información en la zona de estudio, según el nivel de profundización en el objeto de estudio descriptiva y explicativa ya que caracterizó el comportamiento del fenómeno, según la manipulación de variables es no experimental ya que se tomaron datos ya establecidos para el análisis, según el tipo de inferencia inductiva ya que se busca conocer el comportamiento de la variable, según el periodo temporal transversal puesto que se los realizó en un lapso de tiempo.

2.2. Diseño de la investigación

El siguiente trabajo de investigación es cuantitativa, debido a que se analizó las precipitaciones extremas de la estación instalada en la ESPOCH mediante la teoría de valores extremos.

2.3. Localización del estudio

Para esta investigación el GEAA proporcionó los datos de la estación meteorológica ubicada en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en la facultad de Recursos Naturales. Las coordenadas geográficas son: Longitud: - 78.650000, latitud -1.650000 Altura 2740m



Figura 1-2. Estación meteorológica de la ESPOCH vista desde el espacio

Fuente: GOOGLE EARTH, 2019



Figura 2-2. Estación meteorológica de la ESPOCH

Fuente: GOOGLE EARTH, 2019

2.4. Población de estudio

La población de estudio son los datos de precipitación registrados por la estación meteorológica ESPOCH, tomados diariamente en horas sinópticas desde 1976 al 2019, durante un periodo de 44 años.

2.5. Tamaño de la muestra

Para el estudio se tomaron la totalidad de los datos de precipitaciones durante el periodo 1976-2019 en horas sinópticas.

2.6. Método de muestreo

No se aplicó ningún método de muestreo, ya que se manipulara el colectivo del total de la base de datos.

2.7. Técnica de recolección de datos

En la ciudad de Riobamba específicamente en la estación meteorológica de la EsPOCH se hallan dos prototipos de estaciones meteorológicas TR-525 Rainfall Sensor, este es un pluviómetro de estilo balde de tendencia remota que mide la precipitación líquida y la automática, es decir, el instrumento puede medir sin la presencia de un observador, y una convencional que requiere que el experto se encuentre presente para la toma del dato (Morocho, 2019, p. 3-4). Por último, se realizó una entrevista al técnico encargado de estación para conocer el funcionamiento de la misma y tener conocimiento general del fenómeno en estudio.

2.8. Análisis estadístico

2.8.1. Procesamiento de datos

En la tabla 1-2 se presenta la base de datos con la cual se realizó la investigación, misma que fue proporcionada por los docentes técnicos que laboran en la estación meteorológica, ubicada en la ESPOCH, estos fueron tomados en horas sinópticas diferentes durante el periodo de 1976 a 2019, en un lapso de tiempo de 44 años.

Tabla 1-2: Base de datos Precipitación

PRECIPITACIÓN ATMOSFÉRICA.									
AÑO:	1.976.		MES:	Enero.	AÑO:	1.976.		MES:	Febrero.
Ds./Lec.	7:00	13:00	19:00	SUMA.	Ds./Lec.	7:00	13:00	19:00	SUMA.
1	0,0	0,0	0,0	0,0	1	0,0	0,0	2,9	2,9
2	0,0	0,0	0,0	0,0	2	5,9	0,2	1,9	8,0
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	1,0	0,2	0,6	1,8
5	0,0	0,0	0,0	0,0	5	0,1	0,2	0,5	0,8
6	0,6	0,0	0,0	0,6	6	1,6	0,2	1,8	3,6
7	0,0	0,0	0,0	0,0	7	5,4	0,2	0,5	6,1
8	0,3	0,0	0,0	0,3	8	6,9	0,2	0,5	7,6
9	0,5	0,0	0,0	0,5	9	1,0	0,2	0,5	
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	1,0	0,2	0,5	1,7
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	1,0	0,2	0,5	1,7
14	0,6	0,0	0,0	0,6	14	0,0	0,0	0,0	0,0
15	0,2	0,2	0,0	0,4	15	1,0	0,2	0,5	
16	0,2	0,2	0,2	0,6	16	0,0	0,0	0,0	0,0
17	1,2	0,0	0,0	1,2	17	1,0	0,2	0,5	
18	0,4	0,0	0,0	0,4	18	0,0	0,0	0,0	0,0
19	0,0	0,0	0,0	0,0	19	1,0	0,2	0,5	
20		0,0	0,0	0,0	20	0,0	0,1	0,5	0,6
21	0,0	0,0	0,0	0,0	21	4,1	3,7	6,3	14,1
22	1,1	0,4	0,0	1,5	22	1,9	1,7	0,0	3,6
23	0,9	0,5	0,0	1,4	23	1,0	0,2	0,5	
24	0,0	0,0	0,0	0,0	24	0,3	0,0	0,0	0,3
25	0,0	0,0	0,0	0,0	25	1,0	0,2	0,5	1,7
26	0,0	0,0	0,0	0,0	26	0,4	0,0	0,0	0,4
27	0,0	0,0	3,0	3,0	27	1,0	0,2	0,5	1,7
28	1,0	0,0	0,2	1,2	28	0,0	0,0	0,0	0,0
29	0,1	0,0	1,9	2,0	29	0,0	0,0	0,0	0,0
30	0,2	4,2	0,4	4,8					
31	0,2	0,0	0,0	0,2					

Fuente: Grupo de energías alternativas y ambiente (GEAA)

Después de una revisión exhaustiva de los datos proporcionados, se encontraron faltantes en ciertos periodos de tiempo como por ejemplo los meses de junio y julio, llegando a tener en algunos años la ausencia de más de 3 meses sin información por lo que se realizó la imputación de dichos valores.

2.8.2. Estadísticas descriptivas

Para este punto la estadística descriptiva nos permite tener un breve conocimiento del contexto de los datos, como por ejemplo las medidas de tendencia central, de posición, de dispersión, a su vez conocer el porcentaje de outliers que la base presenta.

2.8.3. Imputación de datos

Para la imputación de datos se tomaron en cuenta diversos parámetros como por ejemplo el mes en el que se toma la observación, ya que la información recabada fue tomada en horas sinópticas en el día, es por eso que al momento de realizar la imputación, se lo realizo por horas y no en conjunto, para así obtener datos más acordes a la realidad.

2.8.4. Series de Tiempo

La serie de tiempo es una técnica estadística apta, con la que se estudió los cambios o la evolución que presenta la precipitación tanto en el presente como en el pasado, para esto se utilizó la información previamente descrita, el objetivo de este análisis fue conocer de forma gráfica la existencia de patrones, observar los cambios y las variaciones que se han presentado a lo largo de 44 años que comprende el estudio.

2.8.5. Teoría de valores Extremos

Por lo general se presta poca atención a los valores extremos que presentan los conjuntos de datos, es más, estos son considerados como outliers y son retirados para los estudios, de esta manera se desechan alrededor del 5% de la información que se encuentran sobre o por debajo del umbral, pero en muchas de las oportunidades, los eventos (precipitación), producen valores extremos los cuales presentan un alto impacto en su comportamiento, dada esta situación es de suma importancia encontrar técnicas estadísticas que lejos de ignorar, se concentren en describirlos, como por ejemplo la teoría de valores extremos.

La teoría de los valores extremos es la técnica estadística en la cual el análisis se centra netamente en los eventos que suceden en las colas de la distribución. La aplicabilidad que tiene esta técnica es innumerable, para citar algunos ejemplos tenemos en hidrología (precipitaciones, inundaciones), meteorología (huracanes, temperatura) entre otros.

Es por esto que se da paso a la utilización de esta técnica con el fin de conocer dichos excesos que se presentan después del umbral fijado.

2.9. Operacionalización de las variables

Tabla 2-2: Operacionalización de las variables

VARIABLES	Definición Conceptual	Definición Operacional	Unidad de Medida	Escala
Precipitación	La precipitación es cualquier representación de hidrometeoro que cae desde la atmosfera y llega a la superficie de la tierra, este evento natural se puede presentar de diversas formas como lo son la lluvias, llovizna, nieve, etc.	Describe la cantidad de líquido o cualquier otra forma de precipitación que se presente en la superficie de la tierra	Milímetros	Razón

Realizado: Vargas, L. 2021

CAPÍTULO III

3. MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para la investigación realizada se utilizó el software estadístico RStudio, para la obtención de los resultados que se presentan a continuación.

3.1. Base de datos

En la Tabla 3-3 se presenta la base de datos depurada, la cual fue ordenada de acuerdo a la hora sinóptica en la que fue tomado dicho valor de precipitación, a su vez se remplazaron las anomalías que la información suministrada.

Tabla 1-3: Precipitaciones por horas sinópticas y por fechas

Fecha	Hora Local	Precipitación
1/1/1976	7:00:00	0,0
1/1/1976	13:00:00	0,0
1/1/1976	19:00:00	0,0
2/1/1976	7:00:00	0,0
2/1/1976	13:00:00	0,0
2/1/1976	19:00:00	0,0
3/1/1976	7:00:00	0,0
3/1/1976	13:00:00	0,0
3/1/1976	19:00:00	0,0
4/1/1976	7:00:00	0,0
4/1/1976	13:00:00	0,0
4/1/1976	19:00:00	0,0
5/1/1976	7:00:00	0,0
⋮	⋮	⋮
30/12/2019	19:00:00	0,0
30/12/2019	7:00:00	0,0
30/12/2019	13:00:00	0,0
30/12/2019	19:00:00	0,0

Realizado: Vargas L 2021

3.2. Análisis descriptivo de los datos

Se halló las estadísticas descriptivos (Tabla 4-3) como resultado se obtuvo, que la hora con mayor nivel de precipitación es las 7:00, con una media de 1.03 mm, mientras que para las 19:00 se registró 0.52 mm por día y por último la que registro la menor cantidad es a las 13.00 con un promedio de 0.09 mm.

Tabla 2-3: Estadísticas descriptivas

Estadísticas	7:00	13:00	19:00
Min.	0,00	0,00	0,00
1st Qu.	0,00	0,00	0,00
Median	0,00	0,00	0,00
Mean	1,03	0,09	0,52
3rd Qu.	0,40	0,00	0,00
Max.	57,80	29,00	44,80
NA,s	2444	2568	3302

Realizado por: Vargas, L. 2021

En el Grafico 1-3 se presenta las distribuciones de las precipitaciones para las 7:00, 13:00 y 19:00, se identificó con mayor frecuencia valores bajos.

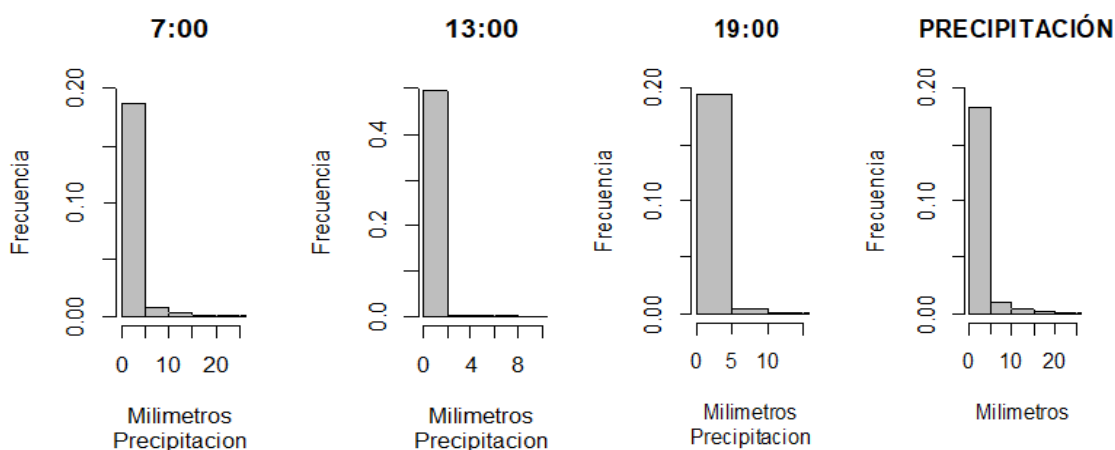


Gráfico 1-3. Distribución de la precipitación por horas sinópticas y en forma general

Realizado por: Vargas, L. 2021

En el Gráfico 2-3 se presentan los diagramas de caja y bigote, donde se observó que los datos presentan mucha variabilidad.

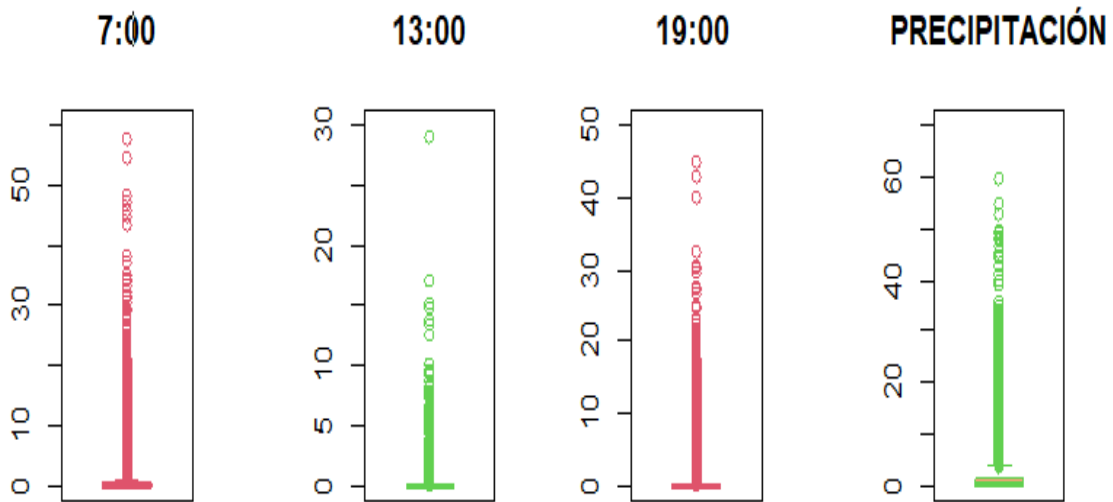


Gráfico 2-3. Box Plot de la precipitación para cada hora sinóptica y para todo el conjunto de datos

Realizado por: Vargas L. 2021

3.3. Análisis de datos faltantes

Se encontró que existen datos faltantes, para aseverar esta hipótesis se realizó una investigación más profunda mediante el gráfico de patrón de datos faltantes, se observó en la Gráfica 3-3 que se encuentra dividida en dos partes, notando en el lado izquierdo el porcentaje de datos faltantes por horas, mientras que al lado derecho los patrones de comportamiento.

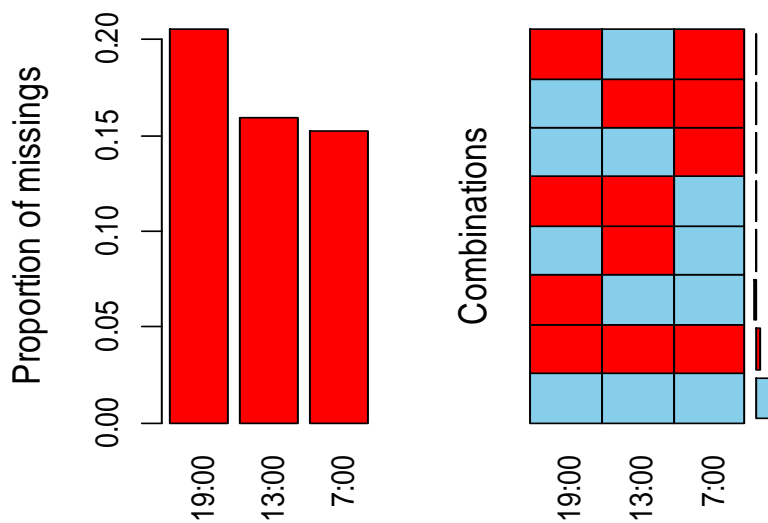


Gráfico 3-3. Patrón de datos faltantes

Realizado por: Vargas L 2021

3.4. IMPUTACION DE DATOS

Para la imputación de los datos se decidió utilizar el método del promedio, se aplicó esta técnica con la finalidad de no perder la información de los valores extremos, ya que para la investigación estos son sumamente imprescindibles.

Tabla 2-3: Estadísticas descriptivas datos imputados

Estadísticas	7:00	13:00	19:00
Min.	0,00	0,00	0,00
1st Qu.	0,00	0,00	0,00
Median	0,00	0,00	0,00
Mean	1,06	0,1	0,57
3rd Qu.	1,3	0,00	0,00
Var	8.51	0.37	3.86
Des. Est	2.91	0.61	1.96
Coef. Var	0.35	0.15	0.26
Max.	59,80	29,40	45,83
NA,s	0	0	0

Realizado por: Vargas L. 2021

Las estadísticas descriptivas luego de realizar la imputación de los datos sufren un mínimo cambio en las medidas de tendencia central, adicional a esto, con la base de datos completa se puede calcular las medidas de dispersión, medidas de posición y forma.

3.4.1 Graficas de Precipitación mensual y anual

En el gráfico se presenta la precipitación mensual por horas sinópticas, donde se observó que existe mayor nivel de lluvias para los meses de febrero, marzo y abril siendo a las 7:00 la hora que mayor nivel registró.

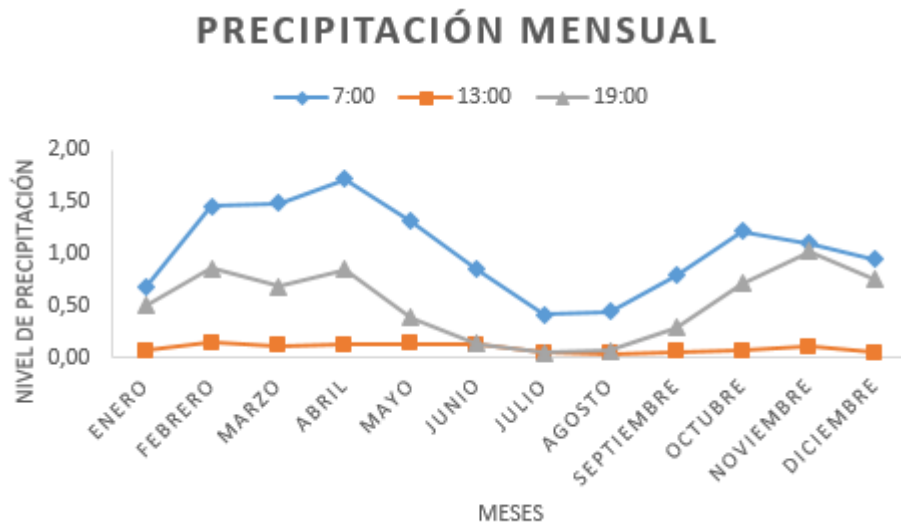


Gráfico 4-3. Precipitación mensual horas sinópticas

Realizado por: Vargas L. 2021

En el grafico se presenta la precipitación mensual, donde se observó que los meses que presentan mayor nivel de lluvia son febrero y marzo y los de menor cantidad fueron julio y agosto.

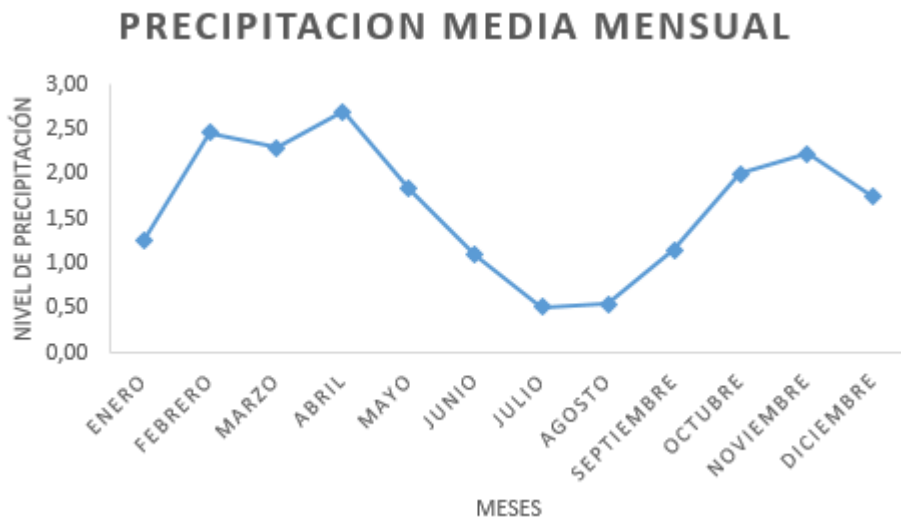


Gráfico 5-3. Precipitación media mensual

Realizado por: Vargas L. 2021

En el grafico se reflejan los datos de precipitación anual, para la estación meteorológica de la Espoch, se observó que existe gran variabilidad, el año que presento mayor nivel de lluvias es el de 1989.

PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL

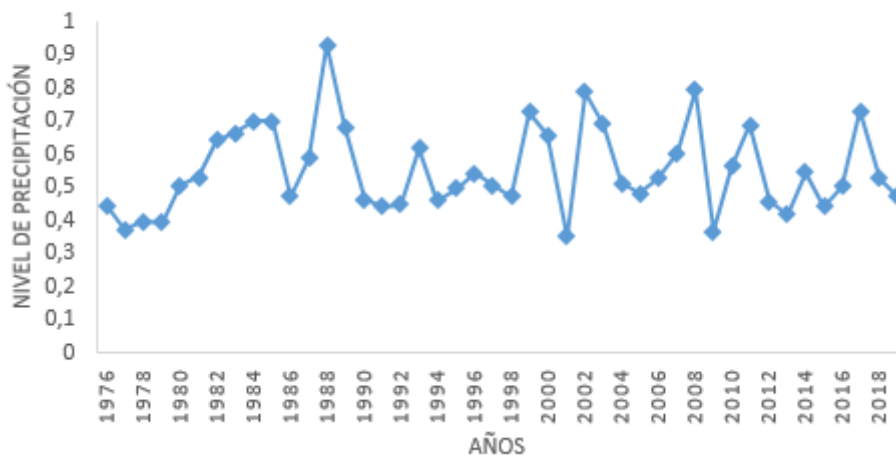


Gráfico 6-3. Precipitación media anual, periodo 1976-2019

Realizado por: Vargas L. 2021

3.5. Estadísticas descriptivas de datos imputados

En el Grafico 4-3 se presenta las distribuciones de las precipitaciones para las 7:00, 13:00 y 19:00 se identificó mayor frecuencia en valores bajos.

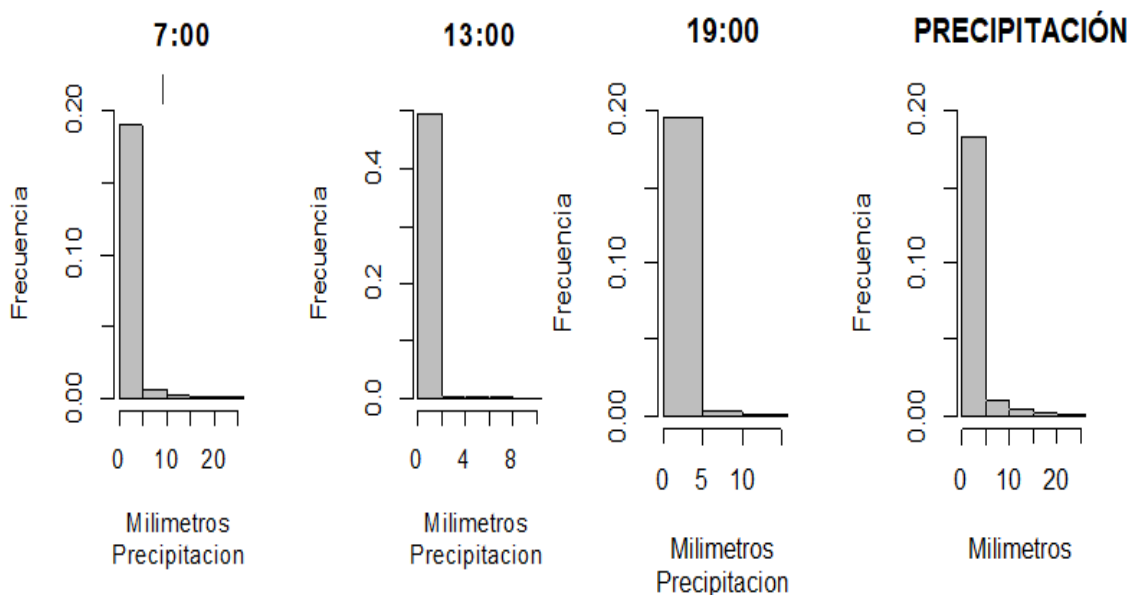


Gráfico 7-3. Distribución de la precipitación por horas sinópticas y en forma general

Realizado por: Vargas L. 2021

En el Grafico 5-3 se presentan los diagramas de caja y bigote, donde se observó que los datos presentan mucha variabilidad

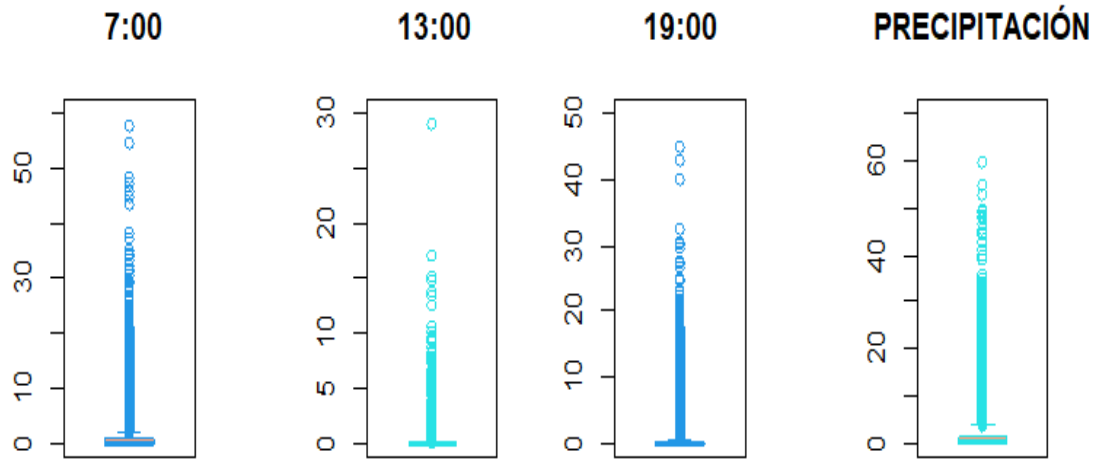


Gráfico 8-3. Box Plot de la precipitación para cada hora sinóptica y para todo el conjunto de datos

Realizado por: Vargas L 2021

En el Grafico 6-3 se presenta la densidad, donde se observó que los datos se encuentran concentrados en su mayoría en la parte izquierda de la distribución, es decir existes precipitaciones bajas con mayor frecuencia.

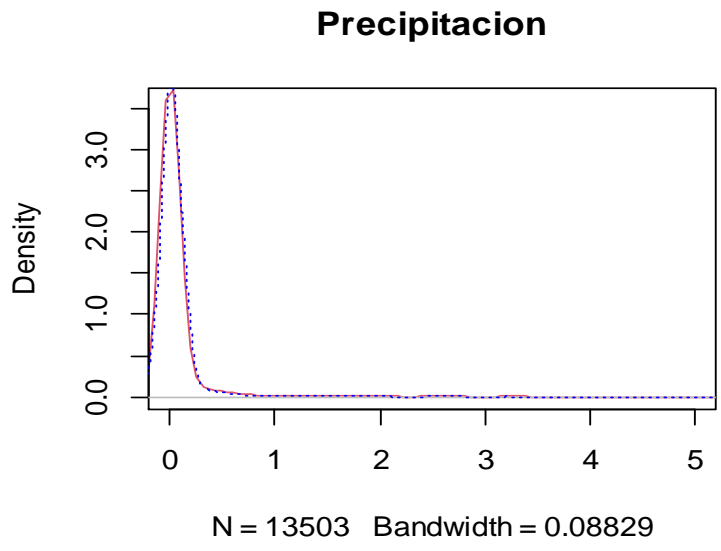


Gráfico 9-3. Densidad de datos

Realizado por: Vargas L 2021

3.6. Series de tiempo

El Gráfico 7-3, la serie de tiempo se realizó por cada hora en la que fue tomada la medición y esta presenta gran variabilidad en la precipitación, notándose de sobre manera que el mayor nivel se presenta a las 7:00, se observó también que existe una tendencia creciente durante el periodo de 1976 hasta 1995, a partir de este año presento una disminución hasta el año 2010 a partir de este periodo aparece nuevamente un incremento en el nivel de lluvias para los años posteriores.

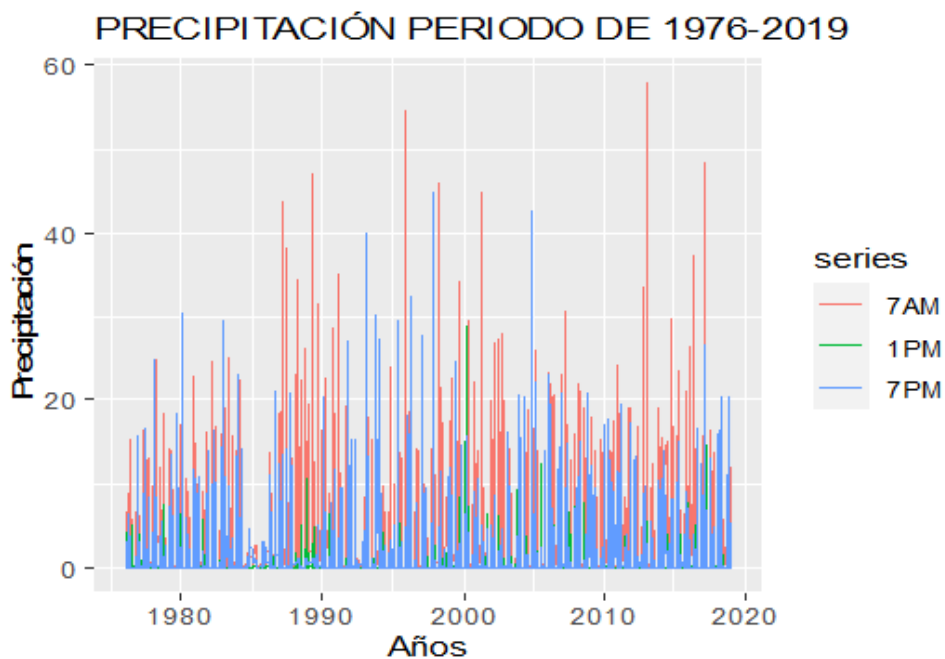


Gráfico 10-3. Serie de tiempo por horas sinópticas

Realizado por: Vargas, L. 2021

En la Grafica 8-4, muestra una variabilidad muy grande y que a partir del año 2010 se ha venido incrementando esto se debe a diversos factores como, por ejemplo, el calentamiento global.

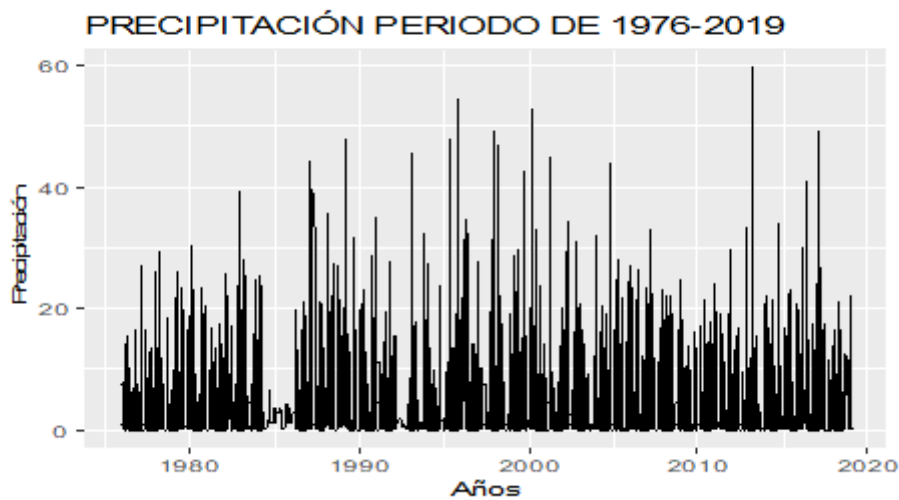


Gráfico 11-3. Precipitaciones diarias 1976-2019

Realizado por: Vargas, L. 2021

La precipitación promedio registrada durante los 44 años en la estación Epoch es de 1.64 mm, con una varianza de 14.63 mm, esto indica que tan dispersos se encuentran las observaciones y dado al valor que se obtuvo se ve claramente que existe gran variabilidad, con esto se corrobora las gráficas obtenidas en el box plot, la desviación estándar es de 3.82 mm.

Tabla 3-3. Media, varianza y desviación estándar de las precipitaciones

Media	Desv. Estandar	Varianza
1,64	3,83	14,63

Realizado por: Vargas L. 2021

3.7. Análisis de umbral

Para la teoría de valores extremos se realizó el análisis de los umbrales que se utilizaron, obteniendo que el más adecuado se encuentra entre 0 mm y 0.1 mm, en el Gráfica 10-3 se puede observar de mejor manera, existe un patrón entre el intervalo asumido anteriormente, esto indica que es el mejor umbral a tomar, cabe aclarar que este es una comprobación del ya conocido, llegando así a la misma conclusión.

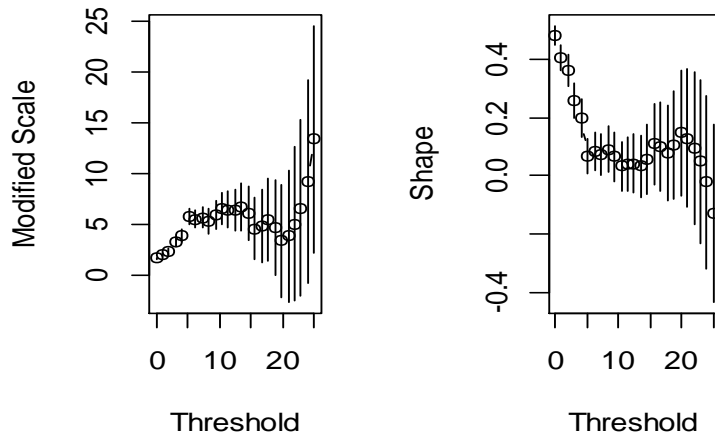


Gráfico 12-3. Identificación del umbral optimo

Realizado por: Vargas, L. 2021

3.8. Gráfico de vida residual media

Se produce una gráfica empírica de vida residual media, incluidos los intervalos de confianza. La gráfica de vida residual media ayudó a seleccionar el umbral para los modelos de proceso puntual o GPD. En el Gráfico 10-3 se observa el comportamiento que presenta el umbral. Se identifica que los límites aumentan y esto se debe al comportamiento que presenta, así que a medida que mayor sea el recorrido, mayor es la variabilidad que presenta.

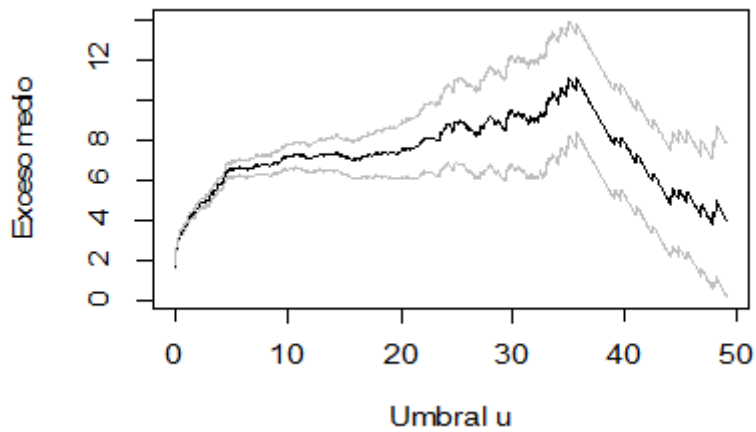


Gráfico 13-3. Vida residual media

Realizado por: Vargas, L. 2021

3.9. Análisis valores extremos

Se realizó una modelación, para lo cual se utilizó el valor del umbral $p_m = 0.1$ (línea entrecortada de color amarillo), desde esta línea se identificó la existencia de eventos extremos, es decir, precipitaciones que se encuentran alejadas del umbral máximo, los cuales se encontraran graficados en la cola derecha del Grafico 11-3.

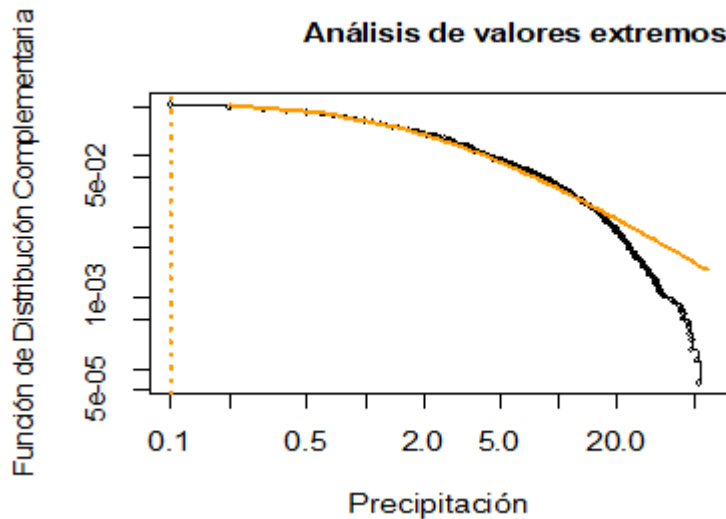


Gráfico 14-3. Análisis de valores extremos de la precipitación mediante GPD

Realizado por: Vargas, L. 2021

Se utilizó la librería “*ercv*” para identificar analíticamente que distribución presenta los eventos extremos para lo cual se utilizó el GPD (Distribución de Pareto Generalizado)

- *evi*: Parámetro de forma (ξ)
- *psi*: Parámetro de escala
- *Threshold*: Valor límite donde se modela la cola de la distribución
- *prob*: Proporción del volumen de los datos propios a los extremos superiores modelados.

Tabla 4-3: Parámetros de GPD

Evi	Psi	threshold	prob
0,610	1,354	14,630	0,549

Realizado por: Vargas L. 2021

Luego de realizar el análisis se obtuvo un valor de 0.613 para el parámetro ξ , el mismo que es superior a cero, lo que indica que la cola derecha es pesada esto quiere decir que sigue una distribución de ley potencial.

Para visualizar de mejor manera el resultado anterior se presenta el Gráfico12-3, donde se observó el comportamiento que presenta la cola derecha la cual está representada por la línea azul, esta se encuentra fuera de los límites (línea amarilla) casi en su totalidad, afirmando de esta manera que los eventos extremos se ajustan a una ley de potencia.

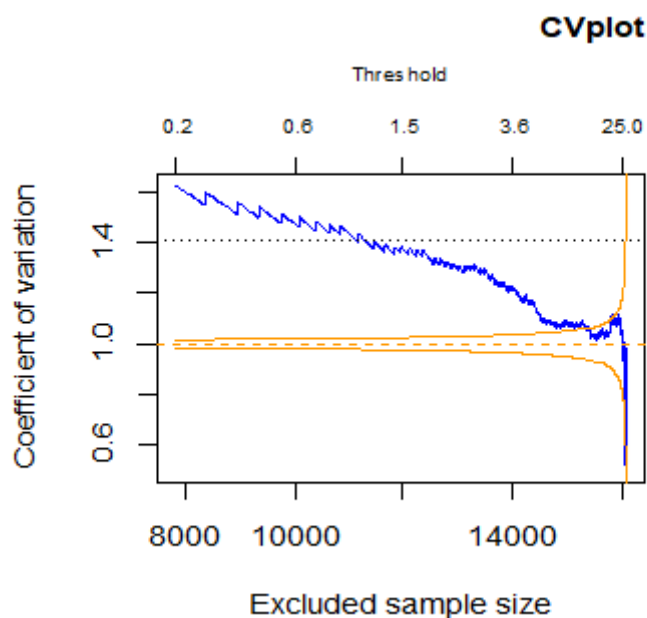


Gráfico 15-3. Estudio de la cola derecha de la distribución

Realizado por: Vargas L. 2021

3.10. Nivel de precipitación para el mes de febrero y abril.

Después de obtener la probabilidad de precipitación mediante la teoría de valores extremos, se calculó el nivel de lluvia que se prevé tener para el siguiente mes de febrero, mediante la interpolación de los valores se obtuvo 1.9 mm, para abril un nivel de 2.45 mm, siendo este mes el que mayor cantidad presenta durante el año con una probabilidad del 55 %.

Tabla 5-3: Nivel de Precipitación

Mes	Método	Probabilidad	Precipitación
Febrero	Interpolación	55%	1,9 mm
Abril	Interpolación	55%	2.45 mm

Realizado por: Vargas L. 2021

CONCLUSIONES

- Se analizó un total de 48211 precipitaciones, los mismos que fueron tomados en horas sinópticas, desde el 1 de enero de 1976 hasta el 31 de diciembre del 2019.
- Al analizar las tendencias que presentaron los datos históricos de precipitación de la estación meteorológica Espoch, se obtuvo el nivel mínimo de 0.0 mm y un máximo de 45.01 mm, en promedio 1.64 mm, con una tendencia a variar por debajo o por encima de dicho nivel en 14.63 mm, siendo los meses de febrero y abril los que mayor cantidad de lluvia presentaron.
- Para validar el umbral propuesto se realizó el análisis de su comportamiento, mediante el método gráfico de la vida residual, confirmando como óptimo, el cual se encuentra en el intervalo de (0mm a 0.1 mm), e identificado como valores extremos a todas las precipitaciones mayores que 0.1 mm.
- Mediante la utilización de la teoría de valores extremos, se obtuvo el valor evi de 0.613 para el parámetro ξ , el cual es mayor a cero lo que nos indica que la cola derecha es pesada, esto quiere decir que sigue una distribución de ley de potencia, por lo que se concluye que las ocurrencias de eventos extremos van apareciendo con mayor frecuencia, debido a la variabilidad, es así que al realizar el análisis de la probabilidad de ocurrencia se obtuvo el valor del 55%.
- Mediante la interpolación de valores se obtuvo las estimaciones de precipitación, para los meses de febrero 1.9 mm y abril 2.45 mm, esto indica de sobremanera que para estos periodos se presentarían eventos extremos con una probabilidad de ocurrencia del 55%, es decir que cualquier medida que se vaya a tomar o actividad que se vaya a realizar se debe tener en cuenta estos sucesos.

RECOMENDACIONES

- En los últimos años ha existido muchos avances en análisis de riesgos mediante la utilización de la teoría de valores extremos, y es muy evidente la falta de información y conocer los beneficios de su aplicabilidad sobre esta teoría en el ámbito meteorológico es por esto que se debería promover la utilización de este tipo de análisis, momento de realizar estudios meteorológicos.
- Continuar investigando en esta línea de aplicaciones de la teoría de valores extremos con el fin de incorporar las estimaciones de parámetros mediante la estadística bayesiana para así obtener predicciones con mayor precisión y exactitud , dado que en la actualidad el país muestra reducida literatura en el área, sobre todo para el estudio de la precipitación con el fin de prever eventos extremos que incrementen la probabilidad de derrumbes, inundaciones u otros eventos relacionados con la lluvia que pueden ocurrir en un futuro.
- Realizar investigaciones de las precipitaciones asociadas a eventos hidrológicos y de vegetación para así poder determinar con mayor precisión los efectos de lluvias extremas en la ciudad de Riobamba.

BIBLIOGRAFÍA.

Agencia Estatal de Metereología del Gobierno de España. [en línea], 2016. [Consulta: 19 noviembre 2020]. Disponible en: https://meteoglosario.aemet.es/es/termino/681_variabilidad-climatica.

AGGARWAL, Charu C. *Outlier Analysis* [en línea]. 2da. New York-USA: Springer International Publishing, 2015. pp. 237-263. [Consulta: 28 noviembre 2020]. Disponible en: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-14142-8_8.

ALEOTTI, P. "A warning system for rainfall-induced shallow failures". *Engineering Geology* [en línea], 2004, (Italia) 73(4), pp. 247-265. [Consulta: 28 noviembre 2020]. ISSN 00137952. <https://DOI.10.1016/j.enggeo.2004.01.007>.

ANDREW, Nathan J.; & ANDREW Scobell. *How China sees America*. 2012. Quito: s.n. ISBN 9788578110796. 2012.

AYALA, Jhoanna; et al. Hydrometeorological network interconnectivity in Chimborazo Province , Ecuador. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería. Universidad del Zulia* [en línea], 2014, vol. 37, no. 3, pp. 251-261. ISSN 0254-0770. Disponible en: <http://200.74.222.178/index.php/tecnica/article/view/21208>.

BRADLEY, R; et al. 1987. "Precipitation fluctuations over Northern Hemisphere land areas since the mid-19th century". *Science*, vol. 237, no. 4811, pp. 171-175. ISSN 00368075. DOI 10.1126/science.237.4811.171.

BUSTAMANTE, D. "Escenario de cambio climático a nivel de subcuencas hidrográficas para el año 2050 de la provincia de Chimborazo- Ecuador". *La Granja* [en línea], 2017. vol. 26, no. 2, pp. 15. [Consulta: 21 noviembre 2020]. ISSN 1390-3799. DOI 10.17163/lgr.n26.2017.02. Disponible en: <http://doi.org/10.17163/lgr.n26.2017.02>.

BUTTAFUOCO, G; et al. Spatial patterns of variability for rain fields at different timescales : an application in southern Italy. [en línea]. 2011. S.l.: s.n., pp. 3-13. [Consulta: 21 noviembre 2020]. Disponible en: http://www.ewra.net/ew/issue_36.htm.

BUYTAERT, W; et al. Hidrología del Páramo Andino: Propiedades, Importancia y Vulnerabilidad. *Soil and Water*, 2003. Disponible en: pp. 1-26. <https://paramo.cc.ic.ac.uk/pubs/ES/Hidroparamo2.pdf>

CAJAS, M.; & VIOLETA, O. 2019. Modelo predictivo de ocurrencia de eventos extremos de la variabilidad climática en las costas ecuatorianas basado en la detección de patrones de distribución de organismos zooplanctónicos utilizando minería de datos.

CASTRO, M. 2014. Imputación de datos faltantes en un modelo de tiempo de fallo acelerado. , pp. 53.

CELLERI, R; et al. "Space-time rainfall variability in the Paute basin, Ecuadorian Andes". *Hydrological Processes* [en línea], 2007. vol. 21, no. 24, pp. 3316-3327. [Consulta: 21 noviembre

2020]. ISSN 08856087. DOI 10.1002/hyp.6575. Disponible en: www.interscience.wiley.com.

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. vol. 54, no. 1, pp. 243-255. [Consulta: 21 noviembre 2020]. ISSN 15588432. DOI 10.1175/JAMC-D-13-0210.1. Disponible en: http://journals.ametsoc.org/jamc/article-pdf/54/1/243/3579897/jamc-d-13-0210_1.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". *Ciifen* [en línea], 2014. pp. 45. Disponible en: http://www.ciifen.org/images/stories/Menu-Proyectos/RyA/Adaptacion_y_CC/analisis_de_vulnerabilidad_para_los_Andes.pdf.

CONTRERAS, J; et al. 2017. Optimización de una red de monitoreo de precipitación usando modelos Geoestadísticos: caso de estudio en la cuenca del río Paute, Ecuador. *Memorias Uzuay* [en línea], vol. XVI, no. February 2018, pp. 115-124. Disponible en: <https://giovanni.sci.gsfc.nasa.gov/giovanni/%0Ahttp://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/3281/1/10055.pdf%0Ahttp://revistas.uazuay.edu.ec/index.php/memorias/article/view/55/49>.

CORTÉS CORTÉS, Ana Cristina. 2010. Análisis de la variabilidad espacial y temporal de la precipitación en una ciudad de media montaña andina caso de estudio: manizales. , pp. 20-22.

CROWLEY, Tomas. "Crowley_abrupt climate change and extinction events in history." [en línea]. 1988. S.l.: s.n. Disponible en: 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.

DALY, Christopher; et al. "A Statistical-Topographic Model for Mapping Climatological Precipitation over Mountainous Terrain." *Journal of Applied Meteorology* [en línea], 1994. vol. 33, no. 2, pp. 140-158. ISSN 0894-8763. Disponible en: [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1994\)033%3C0140:ASTMFM%3E2.0.CO](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1994)033%3C0140:ASTMFM%3E2.0.CO).

ELITH, Jane; et al. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography* [en línea], 2006, vol. 29, no. 2, pp. 129-151. [Consulta: 24 noviembre 2020]. ISSN 09067590. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.2006.0906-7590.04596.x>.

FERREIRA, Armando Mateus. Metodología de análisis e imputación de datos faltantes en series de velocidad del viento. *VI Congreso Galego de Estatística e Investigación de Operacións* [en línea], 2005. pp. 8. Disponible en: http://www.sgapeio.es/INFORMEST/VICongreso/artigos/sesion5_05.pdf.

GONZALEZ DIAZ, Julio; et al. (2010). Prácticas de Estadística en R. *Tutorial* Recuperado de: <https://www.lawebdelprogramador.com/pdf/12603-Practicas-de-Estadistica-en-R.html>.

- GONZÁLEZ MENDEZ, Jorge; et al.** Analysis of rainfall trends (1920-2004) in Mexico. *Investigaciones geográficas*, 2008.no. 65, pp. 38-55. ISSN 0188-4611.
- GRUBBS, Frank E.** "Procedures for Detecting Outlying Observations in Samples." *Technometrics*. 1969.vol. 11, no. 1, pp. 1-21. ISSN 15372723. DOI 10.1080/00401706.1969.10490657.
- HERNÁNDEZ GARCÍA, Elisa ; et al.** Ejercicio de homogeneización y relleno de series diarias de temperatura máxima, mediante el uso de Climatol. *VIII Congreso Internacional de la Asociación Española de Climatología*, 2012,pp. 409-419.
- INAMHI.** Boletín agrometeorológico mensual n° 12-2017 diciembre instituto nacional de meteorología e hidrología-INAMHI Estudios Investigación y Desarrollo Hidrometeorológico Geotermómetros. . S.l.:
- JIMÉNEZ NOBOA, Luis Castro.; & WITTMER, Cristina.** [sin fecha]. Impacto del cambio climático en la agricultura de subsistencia en el Ecuador. ,
- KATZ, Richard.; & BROWN, Barbara.** 1992. Extreme events in a changing climate: Variability is more important than averages. *Climatic Change* [en línea], vol. 21, no. 3, pp. 289-302. ISSN 1573-1480. DOI 10.1007/BF00139728. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/BF00139728>.
- KIKTEV, Dmitry; et al.** 2003. Comparison of modeled and observed trends in Indices of daily climate extremes. *Journal of Climate* [en línea], vol. 16, no. 22, pp. 3560-3571. [Consulta: 28 noviembre 2020]. ISSN 08948755. Disponible en: <http://journals.ametsoc.org/jcli/article-pdf/16/22/3560/3783070/1520-0442>.
- MAIDMENT, David.; & MAYS, Larry.** *Hidrologia aplicada Ven te Chow Completo.pdf* [en línea] 1994. S.l.: s.n. [Consulta: 24 noviembre 2020]. ISBN 0070108102. Disponible en: <https://baixardoc.com/documents/hidrologia-aplicada-ven-te-chow-5cae52662105a>.
- MEDINA, Fernando.; & GALVÁN, Marco.** Imputación de datos: teoría y práctica Santiago de Chile, julio de 2007. [en línea], 2007. pp. 84. [Consulta: 28 noviembre 2020]. Disponible en: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/4755/1/S0700590_es.pdf.
- MAE (Ministerio del ambiente Ecuador).** Tercera Comunicación Nacional del Ecuador a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. [en línea]. 2017.S.l.: [Consulta: 26 noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/10/TERCERA-COMUNICACION-BAJA-septiembre-20171-ilovepdf-compressed1.pdf>.
- MOCHALES SERRA, Isabel.** Modelos estadísticos para valores extremos y aplicaciones Statistical models for tails and applications. 2013.. S.l.:
- MONTEALEGRE BOCANEGRA, Jose Edgar.** Actualización del componente Meteorológico del modelo institucional del IDEAM sobre el efecto climático de los fenómenos El Niño y La

Niña en Colombia, como insumo para el Atlas Climatológico. *IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales)* [en línea], 2014. pp. 1-134. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/440517/Actualizacion+Modelo+Institucional+El+Nio+-+La+Nia.pdf/02f5e53b-0349-41f1-87e0-5513286d1d1d>.

MORA, Diego Esteban; et al. Statistical Analysis on the Performance of Global and Regional Climate Models for the Paute River Basin in the South-Ecuadorian Andes. *Proceedings of 10th International Conference on Hydroinformatics, Hamburg, Germany* [en línea], 2012. no. June. [Consulta: 23 noviembre 2020]. Disponible en: https://limo.libis.be/primo-explore/fulldisplay?docid=LIRIAS1728384&context=L&vid=Lirias&search_scope=Lirias&tab=default_tab&lang=en_US&fromSitemap=1.

MORA, Diego Esteban; et al. Climate changes of hydrometeorological and hydrological extremes in the Paute basin, Ecuadorean Andes. *Hydrology and Earth System Sciences*, 2014. vol. 18, no. 2, pp. 631-648. ISSN 10275606. DOI 10.5194/hess-18-631-2014.

MORA, Diego Esteban.; & WILLEMS, Patrick. Decadal oscillations in rainfall and air temperature in the Paute River Basin-Southern Andes of Ecuador. *Theoretical and Applied Climatology*, 2012. vol. 108, no. 1-2, pp. 267-282. ISSN 14344483. DOI 10.1007/s00704-011-0527-4.

MOROCHO YAMBAY, Alex Dario. 2019. “Análisis de la Variabilidad de la Precipitación en el Régimen Pluviométrico, en la Ciudad de Riobamba”. [en línea], pp. 3-4. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/13197>.

MUÑOZ, Ángel S; et al. Análisis estadístico con FClimdex para Ecuador. *Inmahi-Mae*, pp. 1-78. 2010.

MUÑOZ, Paul; et al. Effect of the resolution of tipping-bucket rain gauge and calculation method on rainfall intensities in an andean mountain gradient. *Water (Switzerland)*, 2016.vol. 8, no. 11. ISSN 20734441. DOI 10.3390/w8110534.

NOUVELOT, Jean; et al. 1995. Análisis estadístico y regionalización de las precipitaciones en el Ecuador. *El agua en el Ecuador : clima, precipitaciones, escorrentía* [en línea], pp. 27-66. Disponible en: <http://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:010014828>.

ORTS, R., POQUET, M. y ATMOSF, A., [sin fecha]. Visita 1 Estación meteorológica. ,

PABÓN CAICEDO, Jose Daniel.; & MONTEALEGRE, J. E. La Variabilidad Climática Interanual Asociada Al Ciclo El Niño-La Niña–Oscilación Del Sur Y Su Efecto En El Patrón Pluviométrico De Colombia. *Meteorología Colombiana* [en línea], 2000. no. January 2000, pp. 7-21. Disponible en:

https://www.researchgate.net/publication/281605886_La_variabilidad_climatica_interanual_asociada_al_ciclo_El_Nio-La_Nia-

[Oscilación del Sur y su efecto en el patrón pluviométrico de Colombia.](https://www.researchgate.net/publication/281605886_La_variabilidad_climatica_interanual_asociada_al_ciclo_El_Nio-La_Nia-Oscilacion_del_Sur_y_su_efecto_en_el_patrn_pluviometrico_de_Colombia)

PABÓN CAICEDO, Jose Daniel. El cambio climático global y su manifestación en Colombia.

Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía, 2003.vol. 0, no. 12, pp. 111-119. ISSN 2256-5442.

PATEL, Vaishali R.; & MEHTA, Rupa G. Impact of Outlier Removal and Normalization Approach in Modified k-Means Clustering Algorithm. *International Journal of Computer Science Issues*, 2011. vol. 8, no. 5, pp. 331-336. ISSN 1694-0784.

POURRUT, Pierre. *El agua en el Ecuador clima, precipitaciones, escorrentía*. S.l.: s.n. ISBN 9978840354. 1995.

QUEVEDO, Fernando. Medidas de tendencia central y dispersión. *Medwave*. 2011., vol. 11, no. 03, pp. 1-6. ISSN 0717-6384. DOI 10.5867/medwave.2011.03.4934.

QUINTERO, Angel Mauricio; et al. Adaptación a la variabilidad y el cambio climático: intersecciones con la gestión del riesgo. *Luna Azul*, 2012. no. 34. ISSN 1909-2474. DOI 10.17151/luaz.2012.34.15.

REICHENBACH, et al. Regional hydrological thresholds for landslides and floods in the Tiber River Basin (central Italy). *Environmental Geology*, 1998, vol. 35, no. 2-3, pp. 146-159. ISSN 09430105. DOI 10.1007/s002540050301.

REISS, Rolf Dieter.; & THOMAS, Michael. *Statistical Analysis of Extreme Values*. S.l.: Birkhäuser Basel. 1997.

ROLLENBECK, Rütger.; & BENDIX, Jorg., 2011. Rainfall distribution in the Andes of southern Ecuador derived from blending weather radar data and meteorological field observations. *Atmospheric Research*, vol. 99, no. 2, pp. 277-289. ISSN 01698095. DOI 10.1016/j.atmosres.2010.10.018.

ROLLENBECK, Rütger; et al. Precipitation dynamics and chemical properties in tropical mountain forests of Ecuador. *Advances in Geosciences*, 2006. vol. 6, pp. 73-76. ISSN 16807359. DOI 10.5194/adgeo-6-73-2006.

SERRANO, Vincenti 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. vol. 16, no. 2, pp. 23. [Consulta: 21 noviembre 2020]. ISSN 1390-3799. DOI 10.17163/lgr.n16.2012.03. Disponible en: <https://lagranja.ups.edu.ec/index.php/granja/article/view/16.2012.03>.

SUGAWARA, Etsuko.; & NIKAIDO Hiroshi. Properties of AdeABC and AdeIJK efflux systems of *Acinetobacter baumannii* compared with those of the AcrAB-TolC system of *Escherichia coli*. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 2014. vol. 58, no. 12, pp. 7250-7257. ISSN 10986596. DOI 10.1128/AAC.03728-14.

UNESCO-WWAP. 2007. *Un-water/wwap/2007/02*. S.l.: s.n. ISBN 9231040065.

URDIALES FLORES, Diego.; & CÉLLERI, Rolando. Pronóstico de la ocurrencia de precipitación diaria en un gradiente altitudinal en el Sur del Ecuador mediante un generador climático. *Enfoque UTE* [en línea], 2018. vol. 9, no. 3, pp. 29-41. [Consulta: 24 noviembre 2020].

ISSN 1390-9363. DOI 10.29019/enfoqueute.v9n3.209. Disponible en:
<http://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/>.

VILLELA, S.M.; & MATTOS, A. Hidrologia aplicada. McGraw-Hill do Brasil, Sao Paulo, 245 p. - References - Scientific Research Publishing. [en línea] 1975. [Consulta: 24 noviembre 2020]. Disponible en:
[https://www.scirp.org/\(S\(vtj3fa45qm1ean45vvffcz55\)\)/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1740336](https://www.scirp.org/(S(vtj3fa45qm1ean45vvffcz55))/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1740336).

WANG, Bin.; & SASSA, K. Rainfall-induced landslide hazard assessment using artificial neural networks. *Earth Surface Processes and Landforms* [en línea], 2006. vol. 31, no. 2, pp. 235-247. [Consulta: 20 febrero 2021]. ISSN 01979337. DOI 10.1002/esp.1236. Disponible en:
<http://doi.wiley.com/10.1002/esp.1236>.

YEPEZ TAMBACO, David Augusto. Análisis de la arquitectura vernácula del Ecuador: Propuestas de una arquitectura contemporánea sustentable. *Master Arquitectura y Sostenibilidad: Herramientas de diseño y técnicas de control medio ambiental* [en línea], 2012. pp. 65. Disponible en: <http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/bitstream/28000/829/1/T-SENESCYT-0372.pdf>.

ANEXOS

ANEXO A: EXTRACTO DE LA BASE DE DATOS UTILIZADA EN EL ANÁLISIS

PRECIPITACIÒN ATMOSFÈRICA.											
AÑO:	1.976.			MES:	Enero.	AÑO:	1.976.			MES:	Febrero.
Ds./Lec.	7:00	13:00	19:00	SUMA.	Ds./Lec.	7:00	13:00	19:00	SUMA.		
1	0,0	0,0	0,0	0,0	1	0,0	0,0	2,9	2,9		
2	0,0	0,0	0,0	0,0	2	5,9	0,2	1,9	8,0		
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	1,0	0,2	0,6	1,8		
5	0,0	0,0	0,0	0,0	5	0,1	0,2	0,5	0,8		
6	0,6	0,0	0,0	0,6	6	1,6	0,2	1,8	3,6		
7	0,0	0,0	0,0	0,0	7	5,4	0,2	0,5	6,1		
8	0,3	0,0	0,0	0,3	8	6,9	0,2	0,5	7,6		
9	0,5	0,0	0,0	0,5	9	1,0	0,2	0,5			
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	1,0	0,2	0,5	1,7		
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	1,0	0,2	0,5	1,7		
14	0,6	0,0	0,0	0,6	14	0,0	0,0	0,0	0,0		
15	0,2	0,2	0,0	0,4	15	1,0	0,2	0,5			
16	0,2	0,2	0,2	0,6	16	0,0	0,0	0,0	0,0		
17	1,2	0,0	0,0	1,2	17	1,0	0,2	0,5			
18	0,4	0,0	0,0	0,4	18	0,0	0,0	0,0	0,0		
19	0,0	0,0	0,0	0,0	19	1,0	0,2	0,5			
20		0,0	0,0	0,0	20	0,0	0,1	0,5	0,6		
21	0,0	0,0	0,0	0,0	21	4,1	3,7	6,3	14,1		
22	1,1	0,4	0,0	1,5	22	1,9	1,7	0,0	3,6		
23	0,9	0,5	0,0	1,4	23	1,0	0,2	0,5			
24	0,0	0,0	0,0	0,0	24	0,3	0,0	0,0	0,3		
25	0,0	0,0	0,0	0,0	25	1,0	0,2	0,5	1,7		
26	0,0	0,0	0,0	0,0	26	0,4	0,0	0,0	0,4		
27	0,0	0,0	3,0	3,0	27	1,0	0,2	0,5	1,7		
28	1,0	0,0	0,2	1,2	28	0,0	0,0	0,0	0,0		
29	0,1	0,0	1,9	2,0	29	0,0	0,0	0,0	0,0		
30	0,2	4,2	0,4	4,8							
31	0,2	0,0	0,0	0,2							

ANEXO B: EXTRACTO DE LA BASE DE DATOS COMPLETA UTILIZADA

Fecha	Hora Local	Precipitación
1/1/1976	7:00:00	0,0
1/1/1976	13:00:00	0,0
1/1/1976	19:00:00	0,0
2/1/1976	7:00:00	0,0
2/1/1976	13:00:00	0,0
2/1/1976	19:00:00	0,0
3/1/1976	7:00:00	0,0
3/1/1976	13:00:00	0,0
3/1/1976	19:00:00	0,0
4/1/1976	7:00:00	0,0
4/1/1976	13:00:00	0,0
4/1/1976	19:00:00	0,0
5/1/1976	7:00:00	0,0
5/1/1976	13:00:00	0,0
5/1/1976	19:00:00	0,0
6/1/1976	7:00:00	0,6
6/1/1976	13:00:00	0,0
6/1/1976	19:00:00	0,0
7/1/1976	7:00:00	0,0
7/1/1976	13:00:00	0,0
7/1/1976	19:00:00	0,0
8/1/1976	7:00:00	0,3
8/1/1976	13:00:00	0,0
8/1/1976	19:00:00	0,0
9/1/1976	7:00:00	0,5
9/1/1976	13:00:00	0,0
⋮	⋮	⋮
29/12/2019	19:00:00	0,0
30/12/2019	7:00:00	0,0
30/12/2019	13:00:00	0,0
30/12/2019	19:00:00	0,3
31/12/2019	7:00:00	2,3
31/12/2019	13:00:00	0,0
31/12/2019	19:00:00	1,9

ANEXO C: SCRIPT DE R UTILIZADO EN LA INVESTIGACIÓN

```
Código de imputación de datos
#IMPUTACION DE DATOS
#install.packages("mice", dependencies = TRUE)
columns <- c("X7.00", "X13.00", "X19.00")
par(mfrow=c(1,1))
imputed_data <- mice(preci[,names(preci) %in% columns],m = 1,
                    maxit = 1, method = "mean",print=F)
complete.data <- mice::complete(imputed_data);complete.data
names(complete.data)= c("7:00 AM ", "13:00 PM ", "19:00")
summary(complete.data)
```

ANEXO D: CÓDIGO GRAFICA DE LA ELECCIÓN DEL MEJOR UMBRAL

```
par(mfrow = c(1, 2))
tcplot(x, u.range = c(0.0, 25))
```

ANEXO E: CÓDIGO GRÁFICO DE LA VIDA RESIDUAL MEDIA DEL UMBRAL

```
par(mfrow = c(1, 1))
mrplot ( x , tlim = NULL , nt = min ( 1000 , length ( x ) ),
        p.or.n = FALSE , alpha = 0.05 , ylim = NULL ,
        legend.loc = " bottomleft " , try.thresh = quantile ( x , 0.05 , na.rm = TRUE ) ,
main = "Gráfico de vida residual media" , xlab = "Umbral u" ,
        ylab = "Exceso medio" )
```

ANEXO F: CÓDIGO PARA EL ANÁLISIS DE EVENTOS EXTREMOS UTILIZANDO LA GDP

```
z1<-fitpot(y$obs,threshold=c(0.1))
z1
ccdfplot(y$obs,z1,log="xy", xlab = "Precipitación", main = "Análisis de valores
extremos",
        ylab = "Función de Distribución Complementaria", cex.main = 5, adj = 0.5)
cvplot(y$obs,threshold=c(0.1))
```



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO
DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS DEL
APRENDIZAJE



UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS
REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 10 / 09 / 2021

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)

Nombres – Apellidos: *Luis Patricio Vargas Sanunga*

INFORMACIÓN INSTITUCIONAL

Facultad: *Ciencias*

Carrera: *Estadística*

Título a optar: *Ingeniero en Estadística Informática*

f. Analista de Biblioteca responsable: *Lic. Luis Caminos Vargas Mgs.*

ΣΩΨΑ
ΟΕΘΟΥΥ
ΟΕΦ ΦΥΥ
ΧΘΕΙΟΘΕ
ΟΒΙ ΑΒ ΒΗ () Α
Υ ΓΩΑΒΣΧΖΟΥΥΑ
ΟΕΦ ΦΥΥΑΚΕΦΟΦ
ΟΕΦ Β ΣΩΨΑΒΣΧΖΟΥΥΑ
ΟΕΦ ΦΥΥΑΚΕΦΟΦΑΥΑΥΑ
ΜΙΟΥΟΕΦ ΟΕ
ΤΤ ΕΦ ΑΕ ΑΥΑΙ ΕΥΑΒΑΑ
ΑΥ Β () Δ
ΩΑΒΣΧΖ
ΟΒΙ ΑΚΕΦ ΒΕΥΕΦΑ
Φ ΒΙ ΒΕ ΒΕ



0997-DBRAI-UTP-2021



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO
DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS DEL
APRENDIZAJE**



**UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS
REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA**

Fecha de entrega: 10 / 09 / 2021

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: <i>Luis Patricio Vargas Sanunga</i>
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: <i>Ciencias</i>
Carrera: <i>Estadística</i>
Título a optar: <i>Ingeniero en Estadística Informática</i>
f. Analista de Biblioteca responsable: <i>Lic. Luis Caminos Vargas Mgs.</i>

ΩΩΩΩΩ
 ΩΩΩΩΩ
 ΩΩΩΩΩ
 ΩΩΩΩΩ
 ΩΩΩΩΩ
 ΩΩΩΩΩ
 ΩΩΩΩΩ
 ΩΩΩΩΩ
 ΩΩΩΩΩ
 ΩΩΩΩΩ



0997-DBRAI-UTP-2021