



UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CUENCA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA,
INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**“USO DE E-LEARNING PARA GENERAR CURVAS IDF EN
LA CUENCA ALTA DEL RÍO PAUTE”**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

AUTORES: LUIS DAVID YANZA LITUMA

JEFFERSON STALIN VERDUGO GONZÁLEZ

DIRECTOR: ING. MSC. SANTIAGO AURELIO OCHOA GARCÍA

CUENCA - ECUADOR

2023

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA,
INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

“USO DE E-LEARNING PARA GENERAR CURVAS IDF EN LA
CUENCA ALTA DEL RÍO PAUTE.”

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

AUTORES: LUIS DAVID YANZA LITUMA

JEFFERSON STALIN VERDUGO GONZÁLEZ

DIRECTOR: ING. MSC. SANTIAGO AURELIO OCHOA GARCÍA

CUENCA - ECUADOR


2023

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO

DECLARATORIA DE AUTORÍA Y RESPONSABILIDAD

Luis David Yanza Lituma y Jefferson Stalin Verdugo González portadores de las cédulas de ciudadanía N.º 0105559835 y 1400973838 declaramos ser autores de la obra: **“Uso de E-Learning para generar curvas IDF en la cuenca alta del río Paute”**, sobre la cual nos hacemos responsables sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Al mismo tiempo que, basándonos en nuestra ética estudiantil, aseguramos que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximimos a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaramos, finalmente, que nuestro trabajo investigativo ha sido realizado cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que el mismo no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también nos responsabilizamos y eximimos a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Cuenca, **28 de marzo de 2023**

F:

Luis David Yanza Lituma

González

C.I.: 010711540-4

F:

Jefferson Stalin Verdugo

C.I.: 140097383-8

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Luis David Yanza Lituma y Jefferson Stalin Verdugo González bajo mi supervisión.

F: 

Ing. MSc. Santiago Aurelio Ochoa García

CI: 0104158142

DOCENTE - TUTOR

DEDICATORIA

La presente tesis va dedicada a mis padres Luis Yanza y Eugenia Lituma que, con amor y sacrificio, supieron motivarme intelectual y espiritualmente para culminar mis estudios universitarios.

Luis

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi querida familia que ha estado pendiente siempre de mí, a mis amigos de la etapa universitaria por su apoyo y finalmente a mi comunidad por ayudarme en mi crecimiento personal y espiritual durante esta etapa.

Stalin

AGRADECIMIENTO

Primeramente, damos gracias a Dios por permitirnos tener tan buena experiencia dentro de nuestra universidad, a nuestros padres, hermanos, amigos y profesores que estuvieron presentes en este tiempo de estudio, en especial, al Ing. MSc. Santiago Aurelio Ochoa García, nuestro tutor del trabajo de investigación quien nos ha guiado con todo el profesionalismo del caso; gracias por confiar en nuestro trabajo y brindarnos todo su conocimiento durante el proceso en la elaboración del proyecto de titulación.

Luis y Stalin

RESUMEN

Las curvas IDF son indispensables en el diseño y construcción de obras de Ingeniería Civil. Por tal motivo, es primordial el conocimiento de las metodologías y herramientas que deben ser empleadas en su elaboración.

Se procesaron y analizaron registros de precipitaciones monitoreadas en doce estaciones ubicadas en la cuenca alta del río Paute y operadas por la empresa pública ETAPA EP, con el objetivo de obtener, mediante la implementación de la herramienta IDFTool del lenguaje de programación R; intensidades máximas para periodos de retorno de 2, 3, 5, 10, 25, 50 y 100 años, con duraciones de 5, 10, 15, 20, 30, 60, 120 y 360 minutos. Con estos resultados se construyeron curvas IDF correspondientes a las doce estaciones hidrometeorológicas consideradas, la distribución de probabilidad de Gumbel fue la que mejor ajuste tuvo de acuerdo a la prueba de bondad Chi Cuadrado.

Se contrastaron las curvas IDF construidas para las estaciones El Labrado y Gualaceo con las publicadas por el INAMHI; verificando que los resultados están en el mismo orden de aproximación. También, se evaluó la metodología aplicada por la herramienta IDFTool con la metodología tradicional documentada por Aparicio Mijares (1997), obteniendo valores en el mismo orden de aproximación, pero con una mayor intensidad para las lluvias de corta duración con la metodología tradicional, evidenciando los efectos del cambio climático en la región. Los resultados obtenidos destacan la eficiencia al aplicar herramientas de manejo de datos como el R en el procesamiento y análisis de series temporales de lluvias instantáneas.

Palabras clave: precipitación, intensidad, duración, frecuencia, curvas IDF

ABSTRACT

IDF curves are indispensable in the design and construction of civil engineering works. For this reason, it is essential to know the methodologies and tools to be used in their preparation.

Rainfall records monitored at twelve stations located in the upper Paute river basin and operated by the public company ETAPA EP were processed and analyzed to obtain through the implementation of the IDFTool of the R programming language. Maximum intensities for return periods of 2, 3, 5, 10, 25, 50, and 100 years, with durations of 5, 10, 15, 20, 30, 60, 120, and 360 minutes. IDF curves were constructed with these results for the twelve hydrometeorological stations considered; the Gumbel probability distribution was the best fit according to the Chi-square goodness-of-fit test.

The IDF curves constructed for the El Labrador and Gualaceo stations were contrasted with those published by INAMHI, verifying that the results are in the same order of approximation. Also, the methodology applied by the IDFTool was evaluated with the traditional method documented by Aparicio Mijares (1997), obtaining values in the same order of approximation but with a higher intensity for short-duration rainfall with the conventional way, evidencing the effects of climate change in the region. The results highlight the efficiency of applying data management tools such as R in processing and analyzing instantaneous rainfall time series.

Keywords: precipitation, intensity, duration, frequency, IDF curves

ÍNDICE DE CONTENIDO

DECLARATORIA DE AUTORÍA Y RESPONSABILIDAD	I
CERTIFICACIÓN	IV
DEDICATORIA	V
DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTO.....	VI
RESUMEN.....	VII
ABSTRACT	VIII
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	V
ÍNDICE DE TABLAS	IX
ÍNDICE DE GRÁFICOS	X
CAPITULO I.....	13
1.1 INTRODUCCIÓN.....	13
1.2 ANTECEDENTES	14
1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	17
1.4 JUSTIFICACIÓN	18
1.5 OBJETIVOS	19
1.5.1 OBJETIVO GENERAL.....	19
1.5.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	19
1.6 METODOLOGÍA.....	19
CAPITULO II	21
2 MARCO TEÓRICO	21

2.1	Herramientas de manejo de datos	21
2.1.1	Software R.....	21
2.2	Hidrología.....	23
2.2.1	Hidrología en la ingeniería civil.....	23
2.3	Precipitaciones.....	24
2.3.1	Medición de la precipitación.....	24
2.4	Curvas de Intensidad, Duración y Frecuencia (IDF)	26
2.5	Elementos asociados a las curvas IDF.....	27
2.5.1	Intensidad (I).....	28
2.5.2	La Duración.....	28
2.5.3	Periodo de retorno T_m y T_d	28
2.5.4	La Frecuencia.....	28
2.5.5	Probabilidad de excedencia y no excedencia	28
2.6	Estadística aplicada a la hidrología.....	29
2.6.1	Distribuciones de probabilidad	29
2.6.2	Pruebas de bondad de ajuste	30
CAPITULO III.....		31
3	MARCO METODOLÓGICO.....	31
3.1	Metodología para la construcción de curvas IDF mediante E-learning.....	31
3.1.1	Lectura de la información	32
3.1.2	Completar series temporales	32

3.1.3	Acumulaciones de tiempo	33
3.1.4	Intensidades máximas	33
3.1.5	Gráfico de las Curvas IDF.....	33
CAPITULO IV.....		35
4	ANÁLISIS DE INFORMACIÓN	35
4.1	Área de estudio	35
4.1.1	División en subcuencas.....	36
4.2	Recolección de información Pluviométrica.....	37
4.3	Selección de las estaciones hidrometeorológicas	38
4.3.1	Información hidrometeorológica.....	39
4.3.2	Información Analizada.....	42
4.4	Análisis de datos	46
4.5	Precipitaciones.....	48
CAPITULO V		49
5	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	49
5.1	Mapas de Isoyetas.....	49
5.2	Ajustes de probabilidad	55
5.3	Prueba de Bondad de Ajuste.....	60
5.4	Curvas Intensidad, Duración, Frecuencia (IDF).....	62
5.4.1	Cancán – Soldados.....	63
5.4.2	Chanlud.....	64
5.4.3	El Labrado.....	66

5.4.4 El Portete.....	67
5.4.5 Gualaceo DJ Pamar.....	69
5.4.6 Jima	70
5.4.7 La Esmeralda.....	72
5.4.8 Machángara DJ Chulco.....	73
5.4.9 Matadero en Sayausí.....	75
5.4.10 Tarqui DJ Cumbe.....	76
5.4.11 Ucubamba en Etapa.....	78
5.4.12 Yanuncay en Pucán.....	79
5.5 Contraste con la información presentada por el INAMHI.....	81
5.6 Comparación de datos simulados y observados.....	84
5.7 Validación de la metodología.....	89
5.7.1 Estación EL LABRADO.....	89
5.7.2 Estación GUALACEO.....	90
CAPITULO VI.....	92
6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	92
6.1 CONCLUSIONES.....	92
6.2 RECOMENDACIONES.....	94
BIBLIOGRAFÍA.....	95

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Librerías y funciones utilizadas en el lenguaje de programación Rstudio	22
Tabla 2. Distribuciones de probabilidad.....	30
Tabla 3. Pruebas de bondad de ajuste.....	30
Tabla 4. Subcuencas del río Paute.....	36
Tabla 5. Estaciones pluviográficas monitoreadas por ETAPA EP.....	39
Tabla 6. Estaciones pluviométricas monitoreadas por el INAMHI.....	41
Tabla 7. Índices estadísticos de las estaciones seleccionadas	46
Tabla 8. Análisis de datos de las estaciones: La Esmeralda, Machángara, Matadero en Sayausí, Tarqui DJ Cumbe, Ucubamba y Yanuncay en Pucán.....	47
Tabla 9. Precipitaciones máximas diarias calculadas.....	48
Tabla 10. Test de Bondad de ajuste CHI CUADRADO	61
Tabla 11. Ecuaciones para la estación Cancán - Soldados.....	63
Tabla 12. Intensidades Máximas CANCÁN - SOLDADOS.....	64
Tabla 13. Ecuaciones para la estación Chanlud	64
Tabla 14. Intensidades Máximas CHANLUD	65
Tabla 15. Ecuaciones para la estación El Labrado	66
Tabla 16. Intensidades Máximas estación EL LABRADO.....	67
Tabla 17. Ecuaciones para la estación El Portete.....	67
Tabla 18. Intensidades Máximas estación EL PORTETE.....	68
Tabla 19. Ecuaciones para la estación Gualaceo DJ Pamar	69
Tabla 20. Intensidades Máximas estación GUALACEO DJ PAMAR	70
Tabla 21. Ecuaciones para la estación Jima	70
Tabla 22. Intensidades Máximas estación JIMA.....	71
Tabla 23. Ecuaciones para la estación La Esmeralda.....	72

Tabla 24. Intensidades Máximas estación LA ESMERALDA	73
Tabla 25. Ecuaciones para la estación Machángara DJ Chulco	73
Tabla 26. Intensidades Máximas estación MACHANGARA DJ CHULCO	74
Tabla 27. Ecuaciones para la estación Matadero en Sayausí	75
Tabla 28. Intensidades Máximas estación MATADERO EN SAYAUSI.....	76
Tabla 29. Ecuaciones para la estación Tarqui DJ Cumbe	76
Tabla 30. Intensidades Máximas estación TARQUI DJ CUMBE	77
Tabla 31. Ecuaciones para la estación Ucubamba en Etapa.....	78
Tabla 32. Intensidades Máximas estación UCUBAMBA.....	79
Tabla 33. Ecuaciones para la estación Yanuncay en Pucán	79
Tabla 34. Intensidades Máximas estación YANUNCAY EN PUCAN	80
Tabla 35. Resumen de ecuaciones estación GUALACEO.....	83
Tabla 36. Resumen de ecuaciones estación EL LABRADO	84
Tabla 37. Índices estadísticos.....	85
Tabla 38. Intensidades Máximas estación EL LABRADO.....	90
Tabla 39. Intensidades Máximas estación GUALACEO	90

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Formas de precipitación.	24
Gráfico 2. Pluviómetro.....	25
Gráfico 3. Pluviógrafo.....	26
Gráfico 4. Flujograma metodológico para la construcción de curvas IDF mediante E- Learning	31
Gráfico 5. Cantones ubicados en la cuenca del río Paute	35
Gráfico 6. Subcuencas del río Paute	37

Gráfico 7. Estación pluviográfica.....	38
Gráfico 8. Estaciones pluviográficas monitoreadas por ETAPA EP.....	40
Gráfico 9. Estaciones pluviográficas monitoreadas por INAMHI	41
Gráfico 10. Volumen de datos analizados para cada estación.....	43
Gráfico 11. Volumen de datos analizados para cada estación.....	44
Gráfico 12. Histograma de distribución de frecuencias de cada estación	45
Gráfico 13. Isoyetas generadas a partir de la precipitación media anual.	49
Gráfico 14. Isoyetas de precipitaciones para un periodo de retorno de 5 años.	50
Gráfico 15. Isoyetas de precipitaciones para un periodo de retorno de 10 años.	51
Gráfico 16. Isoyetas de precipitaciones para un periodo de retorno de 20 años.	52
Gráfico 17. Isoyetas de precipitaciones para un periodo de retorno de 50 años.	53
Gráfico 18. Isoyetas de precipitaciones para un periodo de retorno de 100 años.	54
Gráfico 19. Ajuste de probabilidad para la estación EL LABRADO	56
Gráfico 20. Ajuste de probabilidad para la estación EL PORTETE	58
Gráfico 21. Curvas IDF de la estación CANCAN - SOLDADOS.....	63
Gráfico 22. Curvas IDF para la estación CHANLUD.....	65
Gráfico 23. Curvas IDF estación EL LABRADO.....	66
Gráfico 24. Curvas IDF estación EL PORTETE	68
Gráfico 25. Curvas IDF estación GUALACEO DJ PAMAR	69
Gráfico 26. Curvas IDF estación JIMA.....	71
Gráfico 27. Curvas IDF estación LA ESMERALDA	72
Gráfico 28. Curvas IDF estación MACHANGARA DJ CHULCO	74
Gráfico 29. Curvas IDF estación MATADERO EN SAYAUSI.....	75
Gráfico 30. Curvas IDF estación TARQUI DJ CUMBE	77
Gráfico 31. Curvas IDF estación UCUBAMBA.....	78

Gráfico 32. Curvas IDF estación YANUNCAY EN PUCAN	80
Gráfico 33. Contraste de las Curvas IDF para la estación GUALACEO DJ PAMAR	87
Gráfico 34. Contraste de las Curvas IDF para la estación EL LABRADO.....	88

CAPITULO I

1.1 INTRODUCCIÓN

Las curvas de Intensidad, Duración y Frecuencias (IDF), son importantes dentro de la ingeniería civil y puntualmente en la hidrología ya que tener relaciones IDF correctas y actualizadas, permite diseñar, dimensionar y estimar una posible inversión de manera correcta dentro de la construcción de obras civiles, como también realizar una adecuada planificación de recursos hídricos. En esta investigación se evaluó la construcción de curvas IDF en la cuenca alta del río Paute, para ello se utilizó información de doce estaciones hidrometeorológicas ubicadas en las diferentes subcuencas, las cuales cuentan con registros de precipitaciones diarias desde el año 1997 hasta el año 2019.

En la actualidad, debido a los diferentes métodos clásicos utilizados en la construcción de curvas IDF es necesario implementar herramientas E-Learning en el manejo de series temporales.

El presente proyecto tiene como finalidad la construcción de curvas IDF con la implementación de lenguaje de programación (Rstudio), que permite mejorar la operatividad del volumen de datos y obtener un mecanismo digital que reduce el tiempo en la construcción de curvas IDF, obteniendo incluso información con menor incertidumbre y resultados de buena calidad.

Finalmente, se exponen los resultados de la construcción de las curvas IDF de las doce estaciones seleccionadas de la cuenca alta del río Paute, utilizando la distribución de probabilidad que mejor se ajuste al modelo. Además, a partir de la información obtenida se evaluó la tendencia de cambio por afecciones del cambio climático que presentan las precipitaciones a lo largo del periodo de estudio, para finalmente establecer comparaciones entre las curvas IDF obtenidas en esta investigación y las curvas IDF presentadas por INAMHI, en su estudio de lluvias intensas versión (2) del año 2019.

1.2 ANTECEDENTES

La lluvia es toda el agua que cae sobre la superficie terrestre en todas sus formas (sólida, líquida y gaseosa); también, cabe resaltar, que la precipitación, se considera una magnitud fundamental en el balance hídrico (Segerer & Villodas, 2006).

Uno de los principales inconvenientes que tiene la precipitación es la medición y cuantificación de la información, debido a la falta de un registro continuo de los datos de las estaciones (Valiente, 2001).

El estudio de la variabilidad espacio temporal de un área determinada, depende directamente de su ubicación. La variabilidad espacio temporal de la lluvia tiene una influencia directa en la agricultura, clima de la región, hidrología, manejo de cuencas hidrográficas, modelación hidrológica, manejo de riego, diseño, construcción de obras hidráulicas, entre otras (Guarín Giraldo & Poveda, 2013).

Con las relaciones IDF, se puede obtener una representación de la escorrentía e hidrología superficial, teniendo así datos de precipitaciones en áreas donde incluso no existen mediciones (Duque-Sarango et al., 2019).

En las regiones montañosas presentes en el austro ecuatoriano se presentan precipitaciones con un patrón influenciado directamente por la topografía del lugar, la altitud, los vientos y la pendiente. El mecanismo para mejorar la calidad y volumen de información es utilizar herramientas digitales para aumentar la calidad y cantidad de información perteneciente a las estaciones de la red de monitoreo actual (Ordóñez, 2020).

La cuenca del río Paute, tiene una cantidad considerable de estaciones pluviométricas, debido al nivel económico que representa, ya que, allí se encuentra la Central Hidroeléctrica de Paute, esta estación genera electricidad para la mayoría del territorio nacional e incluso de esta cuenca se obtiene agua para la ciudad de Cuenca.

La cuenca del río Paute, tiene características fisiográficas que representan las condiciones climáticas en las que se han producido zonas ecológicas como el Páramo. El páramo es un ecosistema conformado por humedales alpino neotropical que están en la zona andina entre los 3500msnm y los 5000msnm, son la fuente principal de agua en pueblos, comunidades e incluso ciudades. Debido a la casi nula actividad humana en el páramo, genera grandes acumulaciones de agua base para alimentar los cauces de las quebradas descendiendo hasta los afluentes principales. En los páramos las precipitaciones son enormemente inconstantes en espacio y tiempo (en Pobladori & Local, s. f.).

La variabilidad de las precipitaciones en la cuenca del río Paute, se sabe que es heterogénea, teniéndose los valores más bajos de precipitación en la parte céntrica de la cuenca y los más altos en la parte baja de la cuenca. Esta variabilidad espacial en la cuenca del río Paute depende básicamente de dos esquemas de precipitaciones: Unimodal (UM) y un Bimodal (BM). Las estaciones hidrometeorológicas ubicadas en la cuenca alta del río Paute, presentan un régimen Bimodal debido a que el cambio climático ha influido al Oeste por el régimen de la costa del Pacífico, y al Este por la masa de aire tropical del Atlántico (Coronel, 2018).

Para el registro de las precipitaciones intensas de corta duración, es indispensable considerar a la hora de realizar un dimensionamiento de obras de ingeniería civil. Por esto es importante determinar los valores que se asocian a la frecuencia de ocurrencia. Al tratarse de variaciones aleatorias, los aspectos directamente relacionados con las precipitaciones se analizan y procesan mediante leyes probabilísticas, y para efecto se han desarrollado métodos y modelos estadísticos que permiten estudiar estos comportamientos (Trauco Campos, 2019)

La condición de los resultados depende directamente de la calidad de información, el tamaño y los métodos estadísticos utilizados en el análisis de las muestras. Una muestra con falta de información no refleja la realidad del comportamiento de las precipitaciones, usualmente para el manejo del volumen de datos se manejan lenguajes de programación para procesar la cantidad de información con resultados correctos y de buena calidad (Muñoz Salazar & Roa Peña, 2020).

En el Ecuador, la aplicación de las curvas IDF, no es difundida con la importancia necesaria, salvo especificaciones en donde se detalla términos referentes, por otra parte, se debe tener en cuenta que las relaciones IDF presentadas por INAMHI datan del año 2019 y fueron calculadas en base a dos estaciones hidrometeorológicas ubicadas en la cuenca media alta del río Paute.

Estudios realizados en el Ecuador acerca de las curvas IDF, hechos por Urgilés Calle (2015) mediante la exploración de métodos espacio-temporal de precipitaciones e intensidades para la cuenca media alta del río Paute, fueron realizados en base a métodos tradicionales para el procesamiento y elaboración de curvas IDF.

Guerrero (2018), determinó las curvas IDF para la cuenca media alta del río Paute mediante la evaluación de las intensidades de precipitación de diseño condicionados por oscilaciones decadales de precipitaciones mediante la evaluación de una metodología de cálculo tradicional.

Varios autores, a nivel mundial, han realizado investigaciones para evaluar metodologías en la construcción de curvas IDF que han permitido conocer ecuaciones características para diferentes regiones en el mundo. Dichas relaciones IDF, permiten analizar las precipitaciones con base en la información pluviométrica.

Cori (2002), elaboró hietogramas sintéticos a los que denominó curvas tipo, agrupando adimensionalmente y temporalmente la probabilidad de ocurrencia de eventos de precipitaciones extremas para las estaciones de Santa Cruz y la Paz en Bolivia.

Hargraves (1981), propuso una ecuación que permite determinar las intensidades con base en las series de datos de precipitaciones máximas en una duración de 24 horas.

Bernard (1932), propuso una ecuación analítica para construir curvas IDF, la cual posteriormente fue desarrollada por Powell (1950).

1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En la actualidad el Ecuador cuenta con curvas IDF que pertenecen a la actualización del estudio de lluvias intensas del Ecuador (INAMHI), en su versión (2) del año 2019, estas curvas se utilizan en ingeniería civil para el planteamiento, diseño y ejecución de obras civiles. El uso de las relaciones IDF son necesarias en el análisis de procesos lluvia – escorrentía pues, resulta un problema la falta de un orden cronológico y actualización continua de la información hidrometeorológica para la obtención de curvas IDF en el área de estudio.

Hacer uso de las curvas IDF no actualizadas puede provocar subestimaciones de las precipitaciones en el dimensionamiento de los diferentes sistemas hidráulicos como el drenaje urbano. En esto, se ven evidenciadas las persistentes fallas de las redes de alcantarillado, cuya consecuencia es una proliferación de enfermedades, problemas de salud pública, deterioro de las estructuras viales y pérdida de movilidad en las ciudades.

En la hidrología, debido a la cantidad de datos y la extensa información que se requiere identificar, organizar y procesar de manera apropiada, es importante auxiliarse de conceptos de estadística y probabilidad debido a que la información hidrometeorológica es de carácter probabilística; por este motivo, es necesario utilizar herramientas E-Learning para describir de forma específica la variación de una serie de datos mediante la implementación de modelos matemáticos, en este caso las precipitaciones más intensas (Cortes Montoya, s. f.).

1.4 JUSTIFICACIÓN

En el tratamiento de información hidrológica es común el uso de diversos softwares basados en Sistemas de Información Geográfica y digitalización de modelos estadísticos con el fin de realizar esquemas que permiten valorar el comportamiento de las precipitaciones sobre una zona específica.

En general, el área de influencia de esta investigación presenta grandes vacíos de datos de precipitaciones, mucho más en la cuenca media del río Paute, donde no existen registros completos y los que existen presentan muchos datos faltantes, tanto en años como en meses y días.

La información hidrometeorológica necesaria para realizar diseños de obras de ingeniería civil no está fácilmente disponible en áreas específicas existiendo una dificultad aún mayor cuando no se dispone de herramientas de medición de precipitación, como pluviógrafos o pluviómetros, que, en algunas ocasiones, llegan a tener fallas y no registran correctamente la información requerida, cuya base de datos no es suficiente para la elaboración de curvas IDF. Por este motivo, se utilizan criterios adimensionales que permiten estimar las curvas IDF con la ejemplificación de información disponible mediante métodos y modelos estadísticos.

Con el uso de herramientas E-Learning y el ordenamiento cronológico de toda la información recopilada, se buscó una aproximación de las curvas IDF en la cuenca alta del río Paute, que permita conocer el comportamiento de las precipitaciones, a través, de su relación temporal, prediciendo patrones de conductas de las precipitaciones con un periodo de retorno o probabilidad específica.

Es importante conocer el comportamiento espacio-temporal de las precipitaciones en la cuenca alta del río Paute debido a que esta área de la cuenca abastece de líquido vital a la ciudad de Cuenca y poblaciones adyacentes además de aportar a un eficiente dimensionamiento y construcción de obras civiles; así como también al control ante eventos de crecida.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 OBJETIVO GENERAL

Generar curvas IDF con herramientas de E-Learning considerando la información de las estaciones de monitoreo hidrometeorológico disponibles en la zona de influencia del estudio.

1.5.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Recolección y procesamiento de la información proporcionada por ETAPA EP desde el año 1997 hasta el año 2019 de las estaciones hidrometeorológicas ubicadas en el área de estudio.
- Evaluar distribuciones de probabilidad aplicables de acuerdo a la información disponible para establecer ecuaciones que describan el comportamiento de las curvas IDF, de las estaciones seleccionadas en el área de influencia del estudio.
- Evaluar las curvas IDF obtenidas para recomendar las funciones de probabilidad que representen las condiciones de lluvia en el área de influencia del estudio.
- Aplicar métodos de bondad de ajuste que permitan validar los modelos obtenidos en cada estación pluviométrica estudiada.

1.6 METODOLOGÍA

De acuerdo a los objetivos planteados, la investigación se caracteriza por ser descriptiva, ya que a través de los datos de precipitaciones suministrados por ETAPA EP se obtuvieron estudios descriptivos para el análisis del comportamiento de precipitaciones en la cuenca alta del río Paute.

El tipo de investigación descriptiva está compuesta por una descripción, consignación, análisis e interpretación de series de datos y la creación de los métodos en la obtención de un producto. La investigación realizada es de tipo no experimental, descriptivo y transeccional. Es no experimental debido a que no se pueden manipular o cambiar variables, los registros obtenidos son de fuentes

oficiales como ETAPA EP e INAMHI, y transeccional debido a que la recolección de series de datos se realizó en un solo tiempo.

Para cumplir con los objetivos planteados, la investigación se estructuró en base a cinco capítulos. En el capítulo I, se hace una descripción introductoria de la investigación, en el capítulo II se abarcan términos y bibliografía necesaria para comprender la investigación, en el capítulo III se describe la metodología utilizada en la construcción de las curvas IDF, en el capítulo IV se analiza y procesa la información referente a la cuenca del río Paute, en el capítulo V se exponen los resultados de la investigación y en el capítulo VI, se presentan las conclusiones y recomendaciones planteadas en la investigación.

CAPITULO II

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Herramientas de manejo de datos

E-Learning es el proceso del aprendizaje que tiene lugar en la ejecución de diferentes softwares como R, su lenguaje de programación Rstudio y Excel, permitiendo a los diseñadores crear contenido digital y convertirlo en un formato de cálculo en código (scripts) de acuerdo a las necesidades para luego distribuirlo entre profesores y alumnos utilizando una plataforma de gestión de aprendizaje digital.

Para el desarrollo de métodos y entornos de aprendizaje se ejemplifican diferentes tipos de herramientas mediante la implementación de lenguaje de programación destinado a operaciones estadísticas y creación de gráficos a partir de datos. Uno de los softwares diseñados para realizar análisis estadísticos y modelos matemáticos proporcionando un amplio campo de herramientas estadísticas (test estadísticos, análisis de series espacio-temporales, algoritmos de agrupamiento y clasificación, entre otros) es el Software R y su lenguaje de programación Rstudio.

2.1.1 *Software R*

R es un ambiente de programación conformado por un grupo de herramientas que se adaptan fácilmente a actividades de manejo de información mediante la utilización de paquetes, librerías o incluso con funciones propias. R es de código abierto y gratuito, cualquier usuario puede descargarlo y crear códigos de manera gratuita, siempre y cuando la distribución sea libre (López-Roldán & Fachelli, 2015). Además, este ambiente de programación resalta entre sus opciones semejantes, debido a que ejecuta las instrucciones solicitadas directamente sin la necesidad de una compilación previa. Como resultado, facilita el procesamiento de tareas ganando tiempo y calidad en los procesos.

El software R, tiene un lenguaje bastante adecuado para la estadística debido a la capacidad de manipular información de forma rápida y precisa, gracias a la generación de scripts que automatizan

procedimientos, por ejemplo, leer series de datos de forma automática si es necesario, además, procesa grandes volúmenes de datos y tiene la capacidad de elaborar gráficos visualmente gustosos.

El software R utiliza la interfaz de Rstudio, que es un entorno de desarrollo digital integrado, utilizado directamente como lenguaje de programación R, dedicado a la generación de procesos estadísticos y construcción de gráficos (Vargas & Mesa-Fúquen, 2021). Es parte de una consola, editor de una conexión que apoya la construcción y ejecución de un código, así como también en la limpieza, trazado y la gestión del espacio de trabajo.

Rstudio ejecuta códigos mediante la implementación y creación de librerías comprendidas por varias funciones que permiten generar, operar y automatizar procesos con la finalidad de tener los resultados requeridos. En la Tabla 1, se pueden observar las librerías y las funciones utilizadas en esta investigación.

Tabla 1. Librerías y funciones utilizadas en el lenguaje de programación Rstudio

Librería	Función	Descripción
dplyr	mutate	Añade nuevas variables/columnas.
	summarise	Genera resúmenes estadísticos de diferentes variables.
lubridate	dmy, myd, ymd, dym, mdy, ymd_hms	Permiten leer una serie de cadenas en R que sirven para analizar datos de fechas y horas. Los elementos de estas cadenas son año (y), mes (m), día (d).
	ceiling_date	Redondea al valor más cercano de la unidad de tiempo especificada.
foqat	trs	Vuelve a muestrear series temporales mediante estadísticas de resumen y devuelve series temporales completas con una nueva resolución temporal.
readxl	read_excel	Permite importar hojas de Excel a R.
IDFtool	IDFCurve	Esta función permite ajustar diferentes funciones de distribución de probabilidad mediante seis métodos de ajuste para determinar la intensidad para diferentes periodos de retorno y por duraciones de tiempo específicas.

Fuente: *Elaboración propia*

El código de programación aplicado en esta investigación se muestra en el Anexo 2.

2.2 Hidrología

La hidrología es la ciencia dedicada al estudio del agua, su ocurrencia, su escorrentía y disposición sobre la superficie de la tierra, sus características físicas, químicas y la relación que existe con el medio ambiente y el hombre (Béjar, 2004).

En la actualidad, la hidrología es importante durante el periodo de planificación de los recursos hídricos por lo que se ha convertido en una parte fundamental en los proyectos relacionados con el suministro y manejo de agua. La hidrología se ha relacionado con las matemáticas y la geografía a través de un sistema de información geográfica formando herramientas útiles en la integración de datos utilizados para procesar y operar gran cantidad de información hidrológica.

2.2.1 Hidrología en la ingeniería civil

El estudio de la hidrología en la ingeniería civil es esencial para el diseño, planificación y operación de proyectos civiles. Dada la dependencia de la ciencia con la metodología y el ambiente natural, los resultados de los diseños civiles normalmente deben considerarse como estimaciones, por lo que, es importante completar la incertidumbre mediante la implementación de métodos probabilísticos.

Dentro de la ingeniería civil, el propósito del estudio de la hidrología es utilizar el agua de los recursos subterráneos o superficiales para remediar la demanda de agua de las personas.

Entre los usos de la hidrología se encuentran:

- Estudios de planificación para la prevención de eventos de crecidas, delimitar áreas vulnerables y desarrollar planes emergentes.
- Estudios del impacto de la transformación urbana sobre las cuencas hidrográficas y los centros poblados.
- Estudios de la magnitud de la escorrentía superficial.
- Regular el caudal debido a los cambios del uso de suelo.

- Diseños de ingeniería hidráulica donde se utilizan modelos matemáticos para ejemplificar el comportamiento espacio-temporal de una cuenca en investigación.
- Análisis del comportamiento hidrológico de ríos, quebradas y lagos, siendo fundamental en el planteamiento de áreas susceptibles a eventos hidrometeorológicos extremos.
- Permite el diseño eficiente de infraestructura civil, incluidos vías, sistemas de suministro de agua, tratamiento y eliminación de aguas residuales, drenaje, irrigación, producción de energía hidroeléctrica y control de sedimentos.

2.3 Precipitaciones

Se refiere a cualquier forma de humedad que se produce en la atmósfera y llega a la superficie terrestre en forma de granizo, lluvia, rocío, neblina y nieve, como se puede observar en el Gráfico 1.

Gráfico 1. Formas de precipitación.



Fuente: (Google, s.f.)

La precipitación es parte fundamental del ciclo del agua y responsable de la acumulación de agua dulce en la Tierra, es producida por las nubes cuando alcanzan el nivel de saturación; se forman gotas de agua crecientes que caen al suelo por gravedad.

2.3.1 Medición de la precipitación

La precipitación es medida mediante la altura de lámina de agua expresada en milímetros. La altura de la lámina indica el valor que se llegaría a acumular sobre una superficie horizontal siempre y cuando la precipitación permaneciera en un punto de caída.

En la actualidad existe gran variedad de equipos y herramientas que permiten obtener registros muy exactos de las precipitaciones. Los instrumentos que permiten medir la cantidad y la

intensidad de las lluvias son los más importantes hoy en día, clasificándose de acuerdo al tipo de registro en pluviómetros y pluviógrafos.

2.3.1.1 Pluviómetro

Es un equipo que se utiliza para medir el volumen de precipitación caído durante un periodo de tiempo, está formada por una serie de vasos cilíndricos que cuentan con una boca de recepción en forma de aro con bordes afilados y con un área de 200cm², y 60cm de altura. La lluvia que cae sobre la boca de recepción se cuela y se transporta a un balancín, éste se llena y vierte el líquido. Cada volcadura es transmitida eléctricamente y es equivalente a un registro de precipitación de 0.5mm dependiendo de la configuración del equipo de medición (Sánchez Sánchez & González Ramos, 2019).

Gráfico 2. Pluviómetro



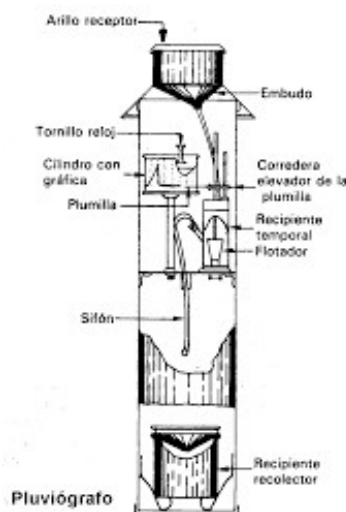
Fuente: (ECOWITT)

2.3.1.2 Pluviógrafo

Es un equipo que se utiliza para registrar información de forma continua, en cuanto a la cantidad total y la duración de lluvia expresada en mm, también puede registrar la cantidad de precipitación conociendo así la distribución de las precipitaciones en el tiempo. De igual composición que el pluviómetro posee un brocal de recepción en la parte superior ingresando el agua hacia la cámara de sifonaje en donde existe un flotador que al recibir cierta cantidad de agua provoca una señal hacia el colector en la parte baja del equipo. Este proceso se repite en varios ciclos hasta que la

precipitación termina. El flotador cuenta con un brazo que permite registrar las señales mediante un plumón de tinta el cual va graficando las diferentes variaciones que presentan las precipitaciones (Fornaguera et al., 2008).

Gráfico 3. Pluviógrafo



Fuente: (INTESCO)

2.4 Curvas de Intensidad, Duración y Frecuencia (IDF)

Las curvas de intensidad, duración y frecuencia (IDF) resultan de unir los puntos más representativos de las intensidades medias en intervalos de varias duraciones y correspondientes a un mismo periodo de retorno (Pizarro et al., 2003).

También se puede definir las curvas IDF como la representación gráfica de la relación existente entre la intensidad, la duración y la frecuencia de la precipitación.

Para la construcción de las curvas IDF varios autores presentan algunas alternativas en donde se encuentra:

- Se obtienen los registros pluviométricos de las estaciones escogidas en un área determinada, con al menos un mínimo de diez años de registro.
- Se seleccionan las alturas máximas en veinte y cuatro horas anuales. Se obtienen las profundidades para diferentes duraciones de 5, 10, 15, 20, 30, 60, 120 y 360 minutos; hay que

considerar y tener presente que no necesariamente los eventos máximos concuerdan con el mismo evento histórico.

- Se tiene que generar series anuales de precipitaciones para cada una de las duraciones en minutos.
- Se debe tomar los valores de cada serie y dividirlos por cada una de su duración, así se obtiene las intensidades en (mm/h).
- Se tiene que ajustar, para cada duración, los valores de intensidad a una distribución de probabilidad dependiendo de la que se ajuste de mejor manera.
- Luego de ajustar con la distribución de probabilidad, se debe estimar, para cada duración, las intensidades máximas correspondientes para diferentes periodos de retorno 2,3,5,10,25,50 y 100 años.
- Es posible graficar las intensidades obtenidas con respecto a las duraciones y periodos de retorno respectivamente.
- Las diferentes curvas IDF pueden describirse estadísticamente mediante la Ecuación 1 que relaciona las tres variables:

$$I = \frac{k*(T)^m}{(d+c)^n} \quad \text{Ecuación 1}$$

En dónde:

I: Intensidad de lluvia relacionada a un periodo de retorno expresada en mm/h.

T: Periodo de retorno expresada en años.

d: Duración expresada en horas.

K, m, n y c: Constante de regreso.

2.5 Elementos asociados a las curvas IDF

En base al concepto de curvas de Intensidad, Duración y Frecuencia, aparecen términos que se deben considerar como la intensidad, la duración, periodo de retorno, la frecuencia y la probabilidad de excedencia de un evento (Gutiérrez-López et al., 2019).

2.5.1 Intensidad (I)

Es la profundidad por unidad de tiempo dada en (mm/h) y se expresada como $I=P/T_d$; donde, P es la profundidad de lluvia dada en (mm o pulg), y T_d corresponde a la duración de lluvia generalmente expresada en horas, es decir, como la cantidad de agua que cae del espacio por unidad de tiempo.

2.5.2 La Duración

Es la cantidad de tiempo que tarda la lluvia precipitándose sobre una zona determinada.

2.5.3 Periodo de retorno T_m y T_d

El término T_m es la recurrencia promedio de eventos que alcanzan o exceden la magnitud de un evento dado en una serie de picos máximos anuales y T_d en subperiodos.

2.5.4 La Frecuencia

La frecuencia de una precipitación es el número de veces con la que se alcanzan o superan las precipitaciones de una magnitud específica en un número determinado de años. La frecuencia está relacionada con el periodo de retorno.

2.5.5 Probabilidad de excedencia y no excedencia

Es el análisis probabilístico asociado al periodo de retorno; probabilidad de ocurrencia que un evento sea igualado o superado en uno o varios años. Se define en la Ecuación 2:

$$P = 1/T \qquad \text{Ecuación 2}$$

Dónde:

T: es el periodo de retorno

La probabilidad de excedencia sirve en la ingeniería hidrológica para estimar riesgos en obras civiles.

La probabilidad de que un evento no ocurra en un año cualquiera es la probabilidad de excedencia y está definida en la Ecuación 3:

$$P^- = 1 - 1/T$$

Ecuación 3

2.6 Estadística aplicada a la hidrología

Debido a la extensa información en la hidrología que se debe estudiar, organizar y procesar de la mejor manera, es importante auxiliarse de bases teóricas en estadística y probabilidad ya que la información que proporcionan las estaciones hidrometeorológicas es de carácter aleatorio (Basile, 2017).

Mediante la estadística es posible describir la variación de un grupo de datos y ejemplificar mediante modelos matemáticos, en muchos de los casos, las precipitaciones con mayor intensidad.

2.6.1 Distribuciones de probabilidad

Las distribuciones de probabilidad son todos los valores producto de un ensayo aleatorio de datos. Estas distribuciones son funciones que representan la probabilidad de una ocurrencia en una serie pluviométrica. Existen una gran cantidad de distribuciones de probabilidad que se ajustan de acuerdo a los parámetros adaptándose de la mejor manera a las series de datos de precipitaciones máximas diarias (Beguería, 2002).

Mediante el ajuste de las diferentes distribuciones de una serie de datos hidrológicos, gran cantidad de datos probabilísticos contenidos en una sola muestra puede simplificarse en una sola función y en los diferentes parámetros asociados.

En hidrológica existen una gran cantidad de distribución de probabilidad que se emplean en varios estudios, diseños e incluso construcciones, como son: caudales, diseño de vías, precipitaciones e intensidades máximas, modelos hidrológicos, entre otros. En la Tabla 2 se puede observar las distribuciones de probabilidad aplicables en el ambiente de programación de Rstudio.

Tabla 2. Distribuciones de probabilidad

Nombre de la Distribución	Abreviatura
Exponencial	EXP
Pearson	PE
Normal	N
Gamma	G
Gumbel	GU
Gev	GE

Fuente: *Elaboración propia*

2.6.2 Pruebas de bondad de ajuste

Las pruebas de bondad de ajuste de una distribución pueden comprobarse comparando los resultados muestrales de las funciones de frecuencia acumulada. El propósito de la prueba implica el cálculo de una posible distribución esperada en un grupo específico estudiado, utilizando como partida la distribución de la variable escogida (Smith Quintero & Campuzano Ochoa, s. f.). Se pretende averiguar la existencia de diferencias estadísticas entre las distribuciones observadas y las esperadas.

Para realizar una prueba de bondad de ajuste se clasifican las series de datos observados en categorías y se contabilizan las observaciones en cada categoría para diferenciar las frecuencias y así poder determinar si la hipótesis es correcta o nula. En la Tabla 3 se observan las pruebas de bondad de ajuste aplicables en el ambiente de programación Rstudio.

Tabla 3. Pruebas de bondad de ajuste

Prueba de Bondad de Ajuste	Abreviatura
Chi Cuadrado	CH
Momentos L	ML
Kolmogórov-Smirnov	KS

Fuente: *Elaboración propia*

Es importante mencionar que gracias a las bondades del uso de lenguaje de programación Rstudio se pueden aplicar diferentes pruebas de bondad de ajuste a la muestra de datos eficientemente.

La prueba de bondad de ajuste que se escogió fue la de “Chi Cuadrado” debido a que, de los tres métodos mostrados, es la que arrojó mejores resultados para las aproximaciones estadísticas.

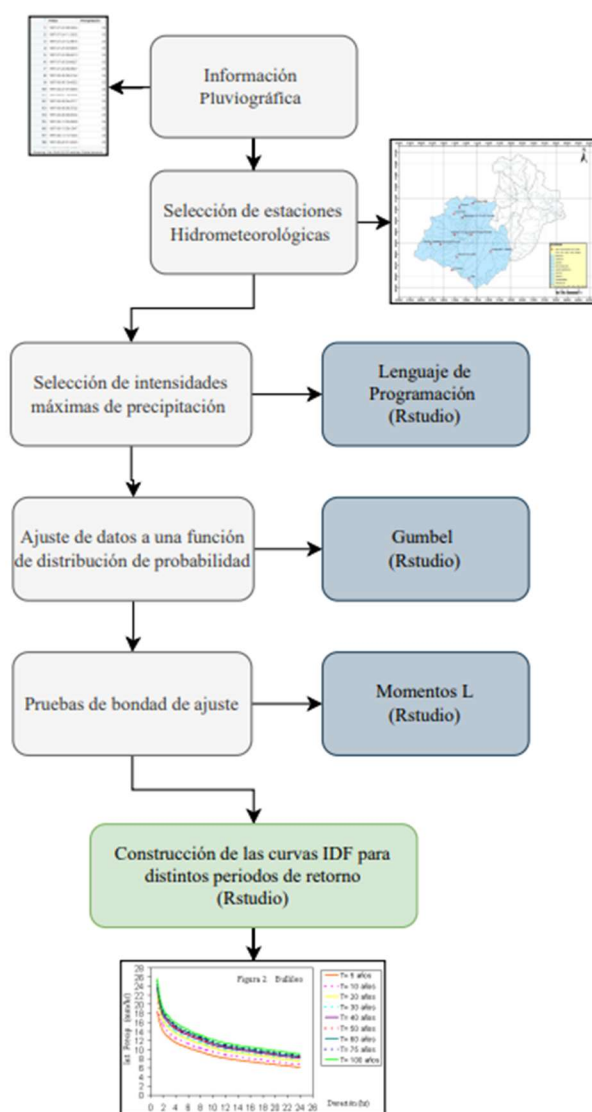
CAPITULO III

3 MARCO METODOLÓGICO

3.1 Metodología para la construcción de curvas IDF mediante E-learning

Para la construcción de curvas IDF con la implementación de E- Learning, se hizo uso del software R con su lenguaje de programación Rstudio en el que se desarrollaron y ejecutaron procesos necesarios para cumplir con el objetivo de la presente investigación. En el Gráfico 4. se observa un flujograma metodológico de procesos que ejemplifica el desarrollo de las curvas IDF.

Gráfico 4. Flujograma metodológico para la construcción de curvas IDF mediante E-Learning



Fuente: *Elaboración propia*

A continuación, se describe cómo se realizó el procesamiento de información en el software Rstudio, la herramienta de E-learning escogida para esta investigación.

3.1.1 Lectura de la información

La información disponible para esta investigación es de tipo **txt** y para su lectura se hizo uso de la función “**read.delim**” (de la librería *utils*) la cual contiene funciones necesarias para programar y desarrollar paquetes en el software Rstudio.

Al trabajar con series de tiempo, se requirió utilizar la librería “**lubridate**” que dispone de funciones para trabajar con fechas-horas y períodos de tiempo; también permite realizar un análisis eficiente, extracción y actualización de componentes de una fecha-hora.

3.1.2 Completar series temporales

La información disponible en el periodo de tiempo de 1997 a 2013 aproximadamente contiene datos de lecturas únicamente cuando el nivel de precipitación alcanzaba 0.5mm de altura, por ende, fue necesario completar los espacios vacíos con información cada 5 minutos que al no alcanzar el nivel mencionado se asumió un valor de precipitación igual a 0.

Para este proceso se utilizó la función “**ceiling_date**” (de la librería *lubridate*) para redondear a los valores mínimos y máximos del intervalo de tiempo analizado; la función “**seq**” (función incorporada por defecto en el software) para crear una secuencia según en intervalos deseados y la función “**mutate**” para incorporar una nueva columna en la cual se asigna el valor de precipitación igual a 0 a la serie temporal creada.

Posteriormente se unen los datos de lectura disponibles con la serie temporal creada con valores de precipitación igual a 0 par así obtener una serie temporal sin espacios vacíos, para esto se utilizó la función “**merge**” (función incorporada por defecto en el software).

Para cada estación hidrometeorológica analizada se contó con al menos dos archivos de información en diferentes periodos de tiempo, para unir los diferentes archivos cronológicamente se hizo uso de la función “**rbind**” (función incorporada por defecto en el software).

La librería **dplyr** es una gramática de manipulación de datos que proporciona un conjunto consistente de funciones que ayudan a resolver los desafíos de manipulación de datos más comunes.

3.1.3 Acumulaciones de tiempo

Para realizar las acumulaciones de tiempo se hizo uso de la función “**trs**” (de la librería *foqat*) la cual permite muestrear series temporales mediante estadísticas de resumen y devuelve series temporales completas con una nueva resolución temporal; así, se puede realizar fácilmente las acumulaciones de tiempo para las duraciones de 5, 10, 15, 20, 30, 60, 120 y 360 minutos. Cabe destacar que el uso de esta función evita el uso de bucles o programación extensa y tediosa que realizan el mismo trabajo, pero en un tiempo más prolongado.

La librería **foqat** contiene funciones que disponen de herramientas para procesar y analizar rápidamente datos de observación de campo.

3.1.4 Intensidades máximas

Una vez obtenidas las acumulaciones temporales para los diferentes periodos de tiempo se hizo uso de la función “**summarise**” (de la librería *dplyr*) para obtener los valores máximos.

Es importante mencionar que al realizar este proceso los espacios temporales vacíos fueron completados con valores “NA” y esto ocasiona errores en el procesamiento, para mitigar este efecto se hizo uso de la función “**na.omit**” (de la librería *stats*).

La librería **stats** contiene herramientas que permiten el uso y manipulación de funciones estadísticas.

3.1.5 Gráfico de las Curvas IDF

El gráfico de las curvas IDF puede hacerse una vez obtenidas las intensidades máximas de cada año analizado, para ello se hizo uso de la función “**IDFCurve**” (de la librería *IDFtool*) la cual

permite adaptar diferentes funciones de distribución de probabilidad por medio de métodos de ajuste para determinar la intensidad [mm/h] para diferentes periodos de retorno y por duraciones de tiempo específicas. Finalmente, calcula los parámetros de las ecuaciones de las Curvas IDF.

La librería “**IDFtool**” calcula curvas de intensidad-duración-frecuencia por duración de tiempo específico y diferentes períodos de retorno. IDFtool incluye un análisis de incertidumbre en curvas IDF, por método bootstrap.

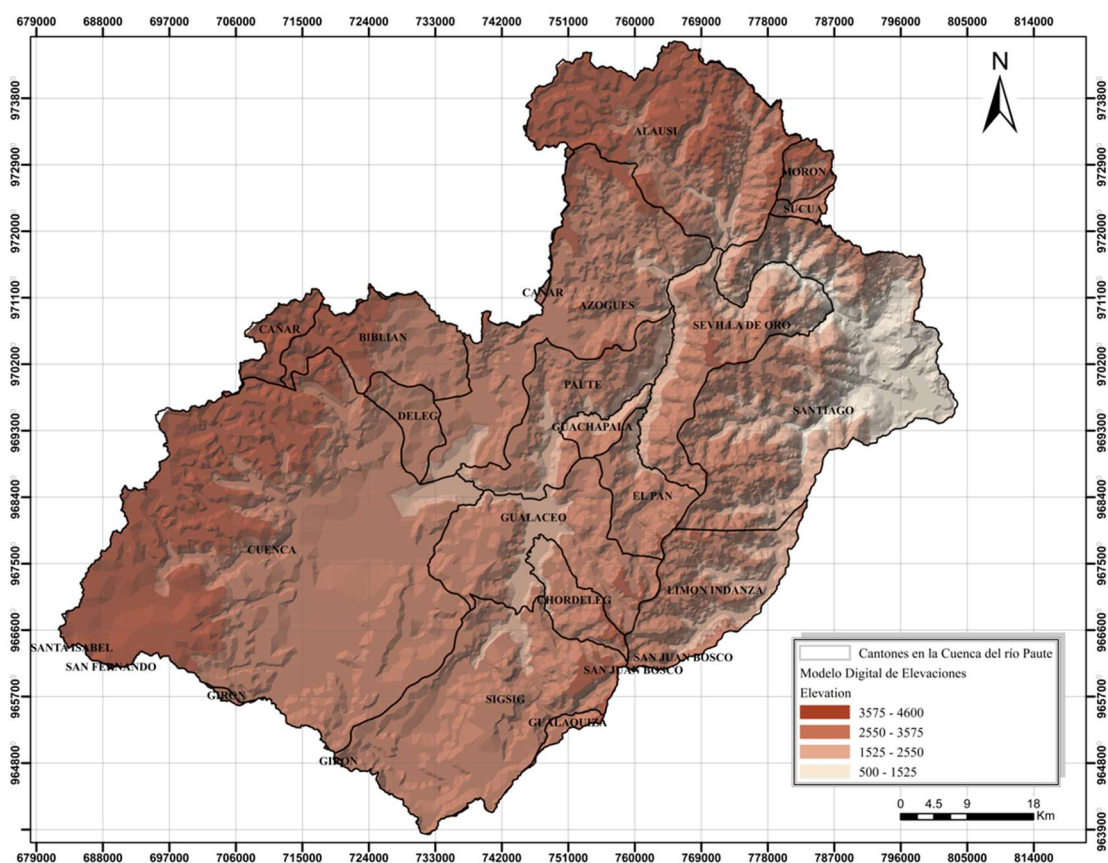
CAPITULO IV

4 ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

4.1 Área de estudio

Toda el área que forma parte de la cuenca del río Paute está ubicada en la zona austral sobre la cordillera de los Andes al sur del Ecuador, pertenece a la hoya del río Paute, se ubica dentro de las cordilleras Oriental y Occidental de los Andes Ecuatorianos; tiene una superficie de 6441.7 Km², formando parte del 1.9% de toda la superficie del Ecuador. La cuenca del río Paute se divide de la siguiente manera: 74.85% pertenece a la provincia del Azuay, 13.26% a la provincial de Cañar, 11.56% a la provincial de Chimborazo y 0.29% a la provincial de Morona Santiago (en Poblalori & Local, s. f.).

Gráfico 5. Cantones ubicados en la cuenca del río Paute



Fuente: *Elaboración propia*

Dentro de la cuenca del río Paute se encuentran localizados los cantones Azogues, Biblián y Déleg pertenecientes a la provincia de Cañar; Alausí perteneciente a la provincia de Chimborazo; y, Paute, Gualaceo, Cuenca, Guachapala, El Pan, Chordeleg, Sígsig y Sevilla de Oro en la provincia del Azuay, como se puede observar en el Gráfico 5.

La cuenca está localizada latitudinalmente entre los paralelos 2° 15' y 3° 15' de latitud sur y longitudinalmente está ubicada en los meridianos 78° 30' y 79° 20' de latitud oeste y corresponde a la hoya del Paute que se extiende por el Norte por el nudo de Curiquingue hasta el sur por nudo del Portete (en Poblalori & Local, s. f.)

4.1.1 División en subcuencas

En la cuenca del río Paute existen una serie de afluentes que se dividen en subcuencas clasificadas en tres grupos de acuerdo a los rangos de altura, están denominadas como cuenca alta desde los 2600 msnm hasta los 4600 msnm, cuenca media desde los 2200 msnm hasta los 2600 msnm y cuenca baja desde los 500 msnm hasta los 2200 msnm, dentro de cada uno de los grupos existen subcuencas que llevan el nombre del afluente principal y son alimentadas por microcuencas adyacentes, en la mayoría de los casos contienen causes fluviales intermitentes, que directamente llegan a desembocar sobre el río Paute (Arévalo Delgado, 2021).

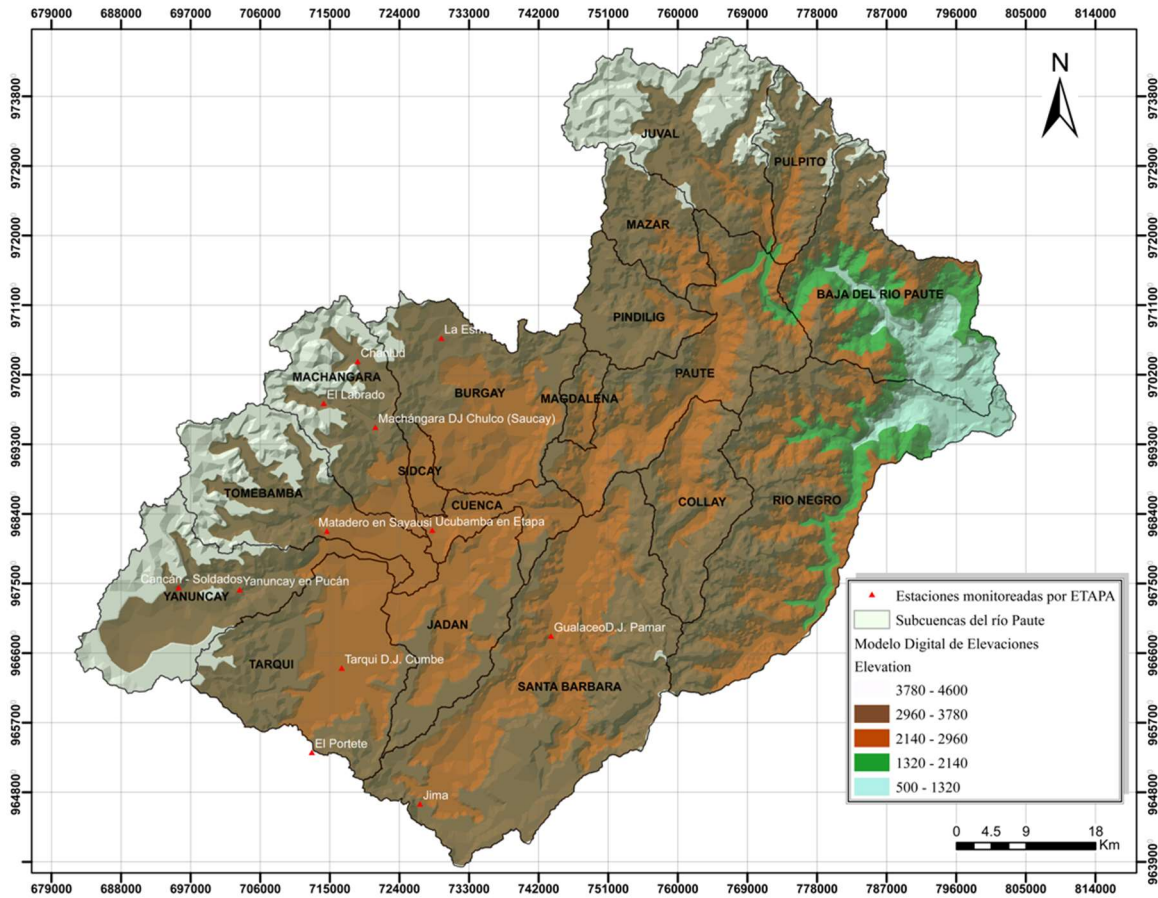
En la Tabla 4 y el Gráfico 6, se puede observar las diferentes subcuencas pertenecientes a la cuenca hidrográfica del río Paute.

Tabla 4. Subcuencas del río Paute

Cuenca Baja	Área km2	Cuenca Media	Área km2	Cuenca Alta	Área km2
Sub. Río Cutilcay	43.6	Sub. Río Burgay	455	Sub. Río Yanuncay	412
Sub. Río Collay	241.8	Sub. Río Jadán	338	Sub. Río Tomebamba	383
Sub. Río Pindiling	117.4	Sub. Río Gualaceo	991	Sub. Río Tarqui	456.6
Sub. Río Mazar	166.9	Microcuencas adyacentes	160.2	Sub. Río Machángara	293.6
Sub. Río Juval	418			Sub. Río Sidcay	48.5
Sub. Río Pulpito	513				

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 6. Subcuencas del río Paute



Fuente: *Elaboración propia*

4.2 Recolección de información Pluviométrica

En esta etapa de la investigación se recopiló la información contenida en las series de registros pluviométricos de las estaciones hidrometeorológicas operadas por ETAPA EP que fue recolectada, analizada y clasificada en investigaciones previas. La información analizada es correspondiente a precipitaciones instantáneas cada cinco minutos, dichas estaciones hidrometeorológicas cuentan con equipos de medición pluviométricos que registran todos los eventos de lluvia que llegan a ocurrir en todo el año de una forma diaria y horaria.

Gráfico 7. Estación pluviográfica



Fuente: (ETAPA EP)

Para cada estación se procesó la cantidad máxima de años posibles de series de precipitaciones disponibles, a fin de procesar la mayor cantidad de información pluviométrica para conseguir resultados confiables con una menor incertidumbre realizando un control de calidad de las series de precipitación analizadas.

4.3 Selección de las estaciones hidrometeorológicas

Para la selección de las estaciones hidrometeorológicas se consideraron todas las que se encuentran en la cuenca alta del río Paute, valorando cantidad, tipo y, principalmente, la densidad de la información, tomando un límite de seis años de un periodo de registro continuo.

De acuerdo a la calidad del volumen de información, se seleccionaron doce estaciones hidrometeorológicas operadas por la empresa pública ETAPA EP. Cabe recalcar que las estaciones cuentan con registros instantáneos cada cinco minutos y además se tomaron en cuenta dos estaciones adicionales con información publicada por INAMHI en su actualización del estudio de lluvias intensas 2019, las estaciones El Labrado y Gualaceo, con la finalidad de establecer comparaciones entre las relaciones IDF obtenidas en esta investigación y las curvas IDF presentadas por el INAMHI.

La metodología de correlación lineal múltiple, basada en la publicación mexicana “Fundamentos de Hidrología de superficie” de Francisco Aparicio, se utilizó para la determinación de las precipitaciones máximas obtenidas a partir de las fajas pluviográficas, para el cálculo y trazado de curvas de intensidad, duración y frecuencia.

La aplicación de otro modelo de ecuaciones IDF que se definen en función de la intensidad máxima en 24 horas fue utilizada para obtener las ecuaciones tipo potencial y proceder a la

construcción de las curvas IDF con los valores de intensidades para diferentes duraciones en función de la intensidad máxima en 24 horas (INAMHI, 2015).

4.3.1 Información hidrometeorológica

En el año 1997 se crea la Red Hidrometeorológica Unificada de la Cuenca del Río Paute (RHUP) con 14 estaciones pluviográficas monitoreadas por la empresa pública ETAPA EP, a fin de conocer el comportamiento hídrico de las subcuencas del río Paute. Esta red monitorea todos los fenómenos y eventos que pueden provocar afectaciones sobre la cuenca del río Paute. Al año 2013 ETAPA EP cuenta con 21 estaciones pluviométricas, 14 meteorológicas y 31 limnigráficas, distribuidas en gran parte de la cuenca del río Paute. Los registros de las estaciones pluviométricas son operados por ETAPA EP (Etapa EP, 2023).

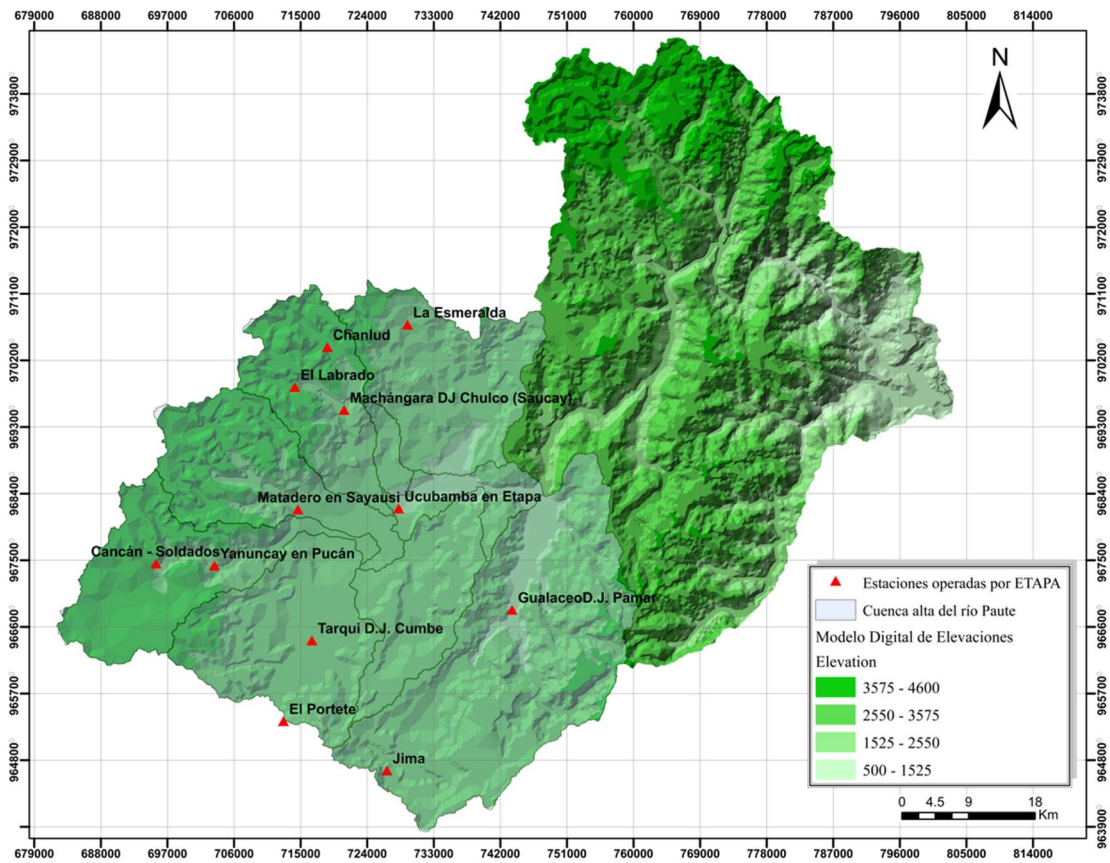
En esta investigación se utilizaron datos instantáneos de las precipitaciones obtenidas de doce estaciones pluviométricas localizadas en las ocho subcuencas coincidentes con la zona de interés considerada en esta investigación, como se puede observar en la Tabla 5 y el Gráfico 8.

Tabla 5. Estaciones pluviográficas monitoreadas por ETAPA EP

Estación	X	Y	Código	Subcuenca	Altura	Tipo de estación	Registro(años)
Cancán-Soldados	695443	9674339	CS	Yanuncay	3528	Pluviográfica	1997-2019
Yanuncay en Pucán	703341	9674070	YP	Yanuncay	3000	Pluviográfica	1997-2019
Gualaceo D.J. Pamar	743591	9668095	GP	Gualaceo	2311	Pluviográfica	1997-2019
Jima	726665	9646383	JI	Gualaceo	2898	Pluviográfica	1997-2019
Machángara DJ Chulco	720882	9695092	MC	Machángara	2972	Pluviográfica	2001-2019
Chanlud	718605	9703578	CH	Machángara	3845	Pluviográfica	2002-2019
El Labrado	714217	9698184	EL	Machángara	3426	Pluviográfica	2001-2019
Tarqui D.J. Cumbe	716525	9663955	TC	Tarqui	2630	Pluviográfica	1997-2019
El Portete	712674	9653054	EP	Tarqui	3174	Pluviográfica	1997-2009
Ucubamba en Etapa	728241	9681776	UE	Cuenca	2430	Pluviográfica	1998-2018
La Esmeralda	729421	9706614	LE	Burgay	3171	Pluviográfica	1997-2018
Matadero en Sayausí	714630	9681648	MS	Tomebamba	2526	Pluviográfica	1997-2018

Fuente: (ETAPA EP)

Gráfico 8. Estaciones pluviográficas monitoreadas por ETAPA EP.



Fuente: Elaboración propia

El Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) determina, opera y mantiene la red de estaciones hidrometeorológicas de todo el territorio ecuatoriano. El INAMHI proporciona información hidrometeorológica que es ocupada como base en la prevención meteorológica, ordenación territorial, manejo de recursos hídricos y sistemas de alerta temprana ante sucesos extremos.

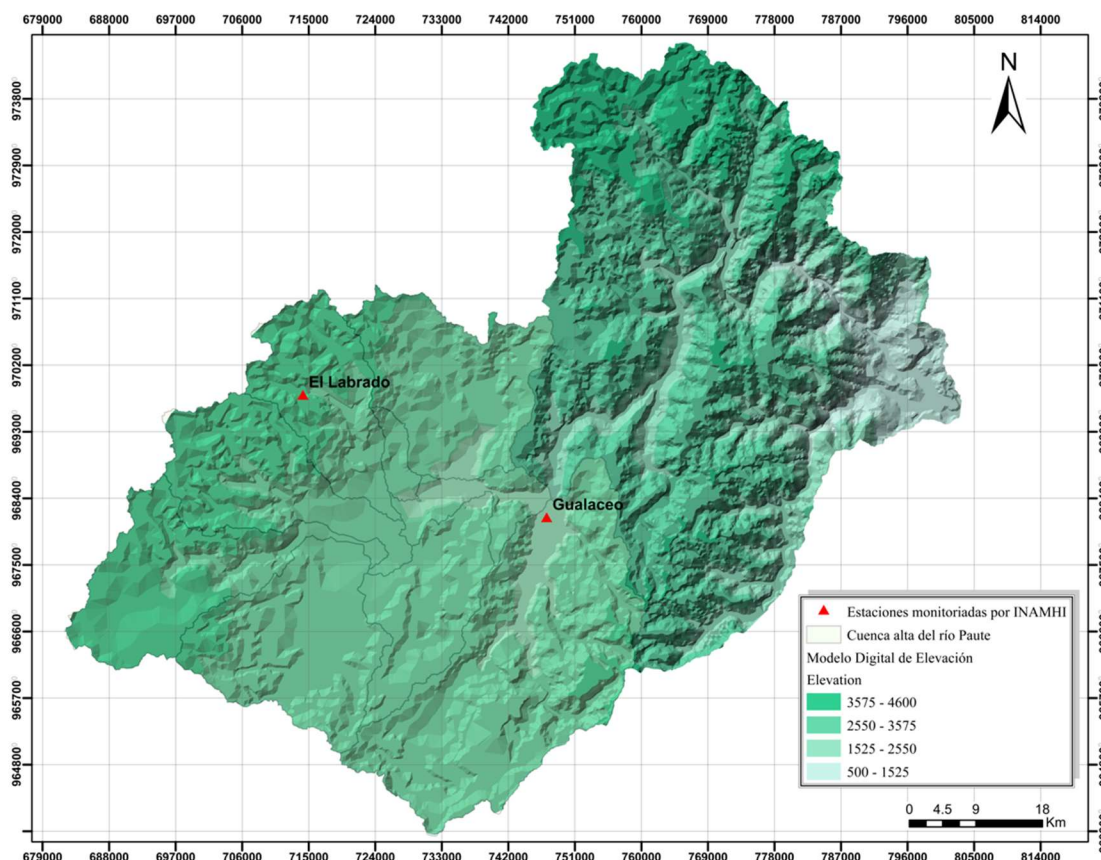
Al año 2023, el INAMHI opera 583 estaciones convencionales y 170 estaciones automáticas entre meteorológicas e hidrológicas repartidas en todo el territorio nacional. Para esta investigación se consideraron dos estaciones las cuales se indican en la Tabla 6 y el Gráfico 9.

Tabla 6. Estaciones pluviométricas monitoreadas por el INAMHI

Estación	X	Y	Altitud	Serie de datos	N.º años
Gualaceo	747183,56	9681214,6	2230	1979-2010	26
El Labrado	714218,93	9697771,85	3335	1978-2011	25

Fuente: (INAMHI 2019)

Gráfico 9. Estaciones pluviográficas monitoreadas por INAMHI



Fuente: *Elaboración propia*

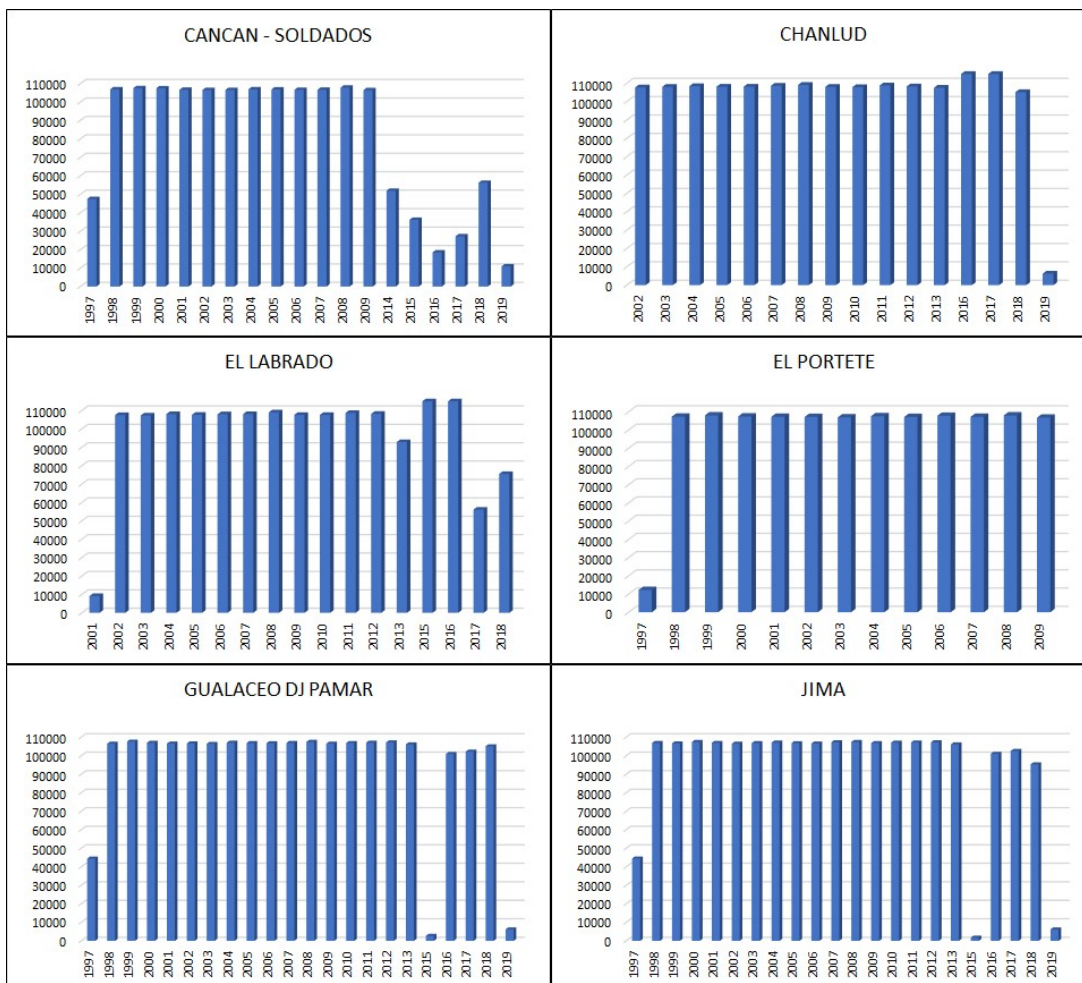
Cabe recalcar que la información de las estaciones expuestas en la Tabla 6 y el Gráfico 9 se extrajeron del trabajo “Actualización del estudio de lluvias intensas” del año 2019 de INAMHI, obteniendo directamente la información de las curvas IDF y las ecuaciones de intensidad de precipitación con la finalidad de establecer comparaciones con los resultados de la presente investigación.

4.3.2 Información Analizada

Con la información adquirida de las doce estaciones hidrometeorológicas, se organizó, analizó y procesó las series temporales de precipitaciones necesarias en la elaboración de las curvas IDF. La información sobre precipitación considerada en esta investigación, corresponde a los años comprendidos entre 1997 hasta el año 2013, registrando únicamente valores cuando el nivel de precipitación alcanzaba los 0.5mm de altura, desde el año 2014 se cuenta con información con menos incertidumbre, ya que, las lecturas realizadas eran cada 5 minutos independientemente del nivel de precipitación registrado en ese instante. Con el análisis del volumen de datos se puede observar como la forma de medición incide directamente en la cantidad de datos para cada estación.

En el Gráfico 10 y Gráfico 11 se puede observar la variación anual que existe en la cantidad de datos procesados para cada estación, por otra parte, el Gráfico 12 permite percibir la variación de datos observados en campo (información de lluvia cada cierta profundidad de lluvia y en otros casos cada cierto tiempo para el periodo de años observados) en las estaciones pluviográficas analizadas.

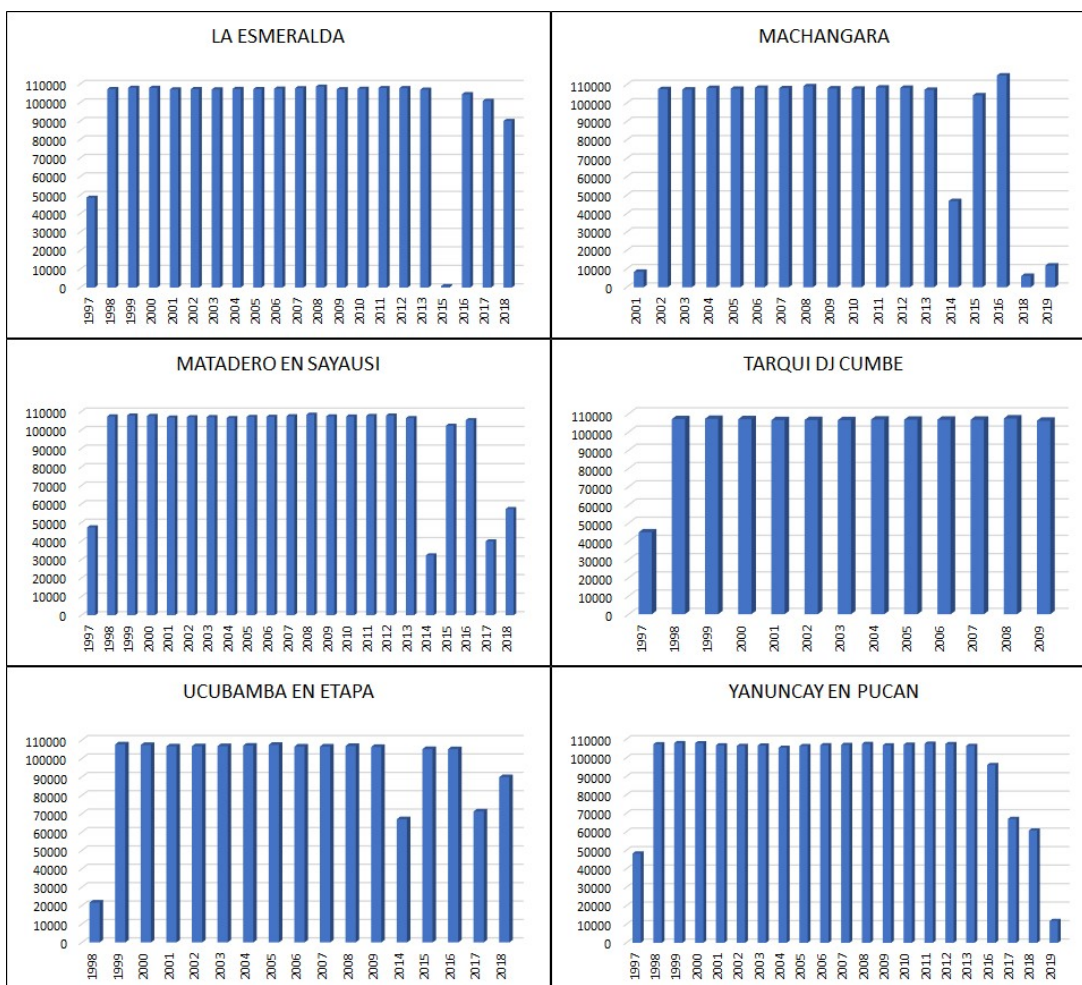
Gráfico 10. Volumen de datos analizados para cada estación



Fuente: *Elaboración propia*

De acuerdo al Gráfico 10, se observa que las estaciones con mayor regularidad en la cantidad de datos disponibles son las estaciones hidrometeorológicas “El Portete” con información registrada desde el año 1997 hasta el año 2009 y “Chanlud”, con registros desde el año 2002 hasta el año 2019. Mientras que las estaciones “Gualaceo DJ Pamar”, “Jima” y “Cancán Soldados” son las estaciones con mayor cantidad de años de registro, desde el año 1997 hasta el año 2019.

Gráfico 11. Volumen de datos analizados para cada estación



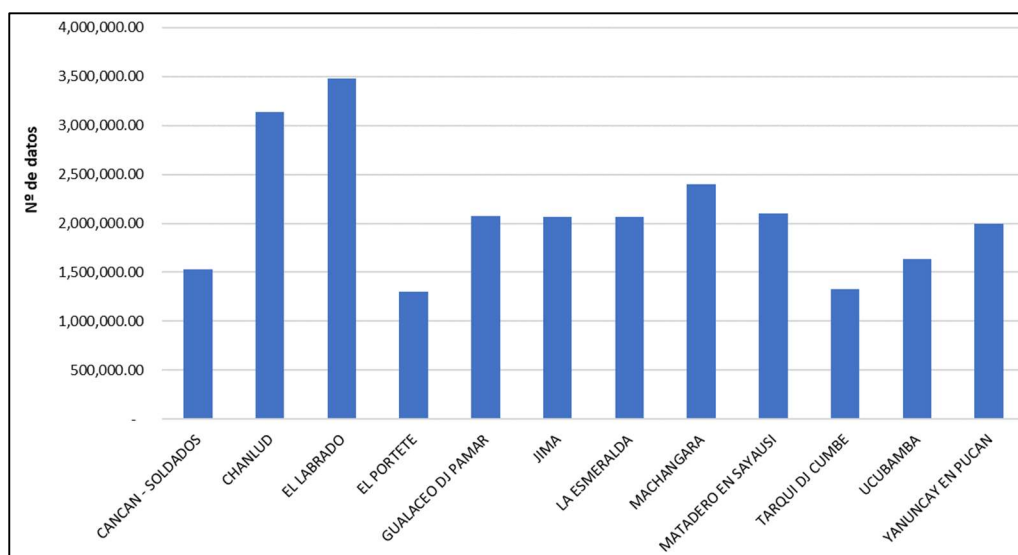
Fuente: Elaboración propia

En el Gráfico 11, se observa las estaciones con mayor regularidad en la cantidad de datos disponibles son: “Ucubamba en ETAPA” con registros desde el año 1998 hasta el año 2018, y “Tarqui DJ Cumbe” con información desde el año 1997 hasta el año 2009. La estación “Yanuncay en Pucán” contiene la mayor cantidad de años que van desde 1997 hasta 2019; en el resto de las estaciones se observa un comportamiento similar, resaltando que la información registrada los primeros años es constante, pero, en los últimos 5 años se observa mucha variación debido a los vacíos de información.

De acuerdo a la información procesada desde el año 1997 hasta el año 2013, contabilizada cuando la altura de lámina de agua alcanzaba los 0.5mm, se evidenció que la cantidad de datos está directamente relacionada con el volumen de lluvia, observando muy poca variación de información entre cada año, mostrando así que la cantidad de lluvia no varió de manera significativa desde 1997 hasta el 2013. La información recabada desde el año 2014 hasta el año 2019 fue procesada cada 5 minutos independientemente de si existía precipitación o no, la misma indica que la cantidad de datos debería ser la misma (exceptuando años bisiestos), no obstante, de acuerdo a los registros analizados durante estos años se observó una mayor variación en el volumen de datos, atribuyendo estas inconsistencias a problemas propios en los equipos de medición y a la renovación e implementación de nuevas tecnologías con sistemas automatizados ejecutados por ETAPA a finales del año 2013.

Para demostrar la variación del volumen de datos, se utilizó un histograma de frecuencias para identificar la diferencia entre los datos totales de precipitación. En el Gráfico 12 se pueden apreciar los valores del total de datos observados en campo para cada una de las doce estaciones hidrometeorológicas objeto de esta investigación.

Gráfico 12. Histograma de distribución de frecuencias de cada estación



Fuente: Elaboración propia

De acuerdo al histograma de frecuencias, se constató que la estación “El Labrado” contiene la mayor cantidad de datos observados, desde el año 2001 hasta el año 2018, cabe mencionar que los registros presentados para esta estación son cada 15 segundos debido al equipo y la calibración que mantuvo durante estos años. Por otra parte, la estación “El Portete” es la que menor cantidad de datos observados dispone, con registros desde el año 1997 hasta el año 2009.

4.4 Análisis de datos

En esta evaluación se ocuparon herramientas de estadística descriptiva para describir el comportamiento de la información de precipitación procesada. Los resultados de la aplicación de análisis estadístico se exponen en las Tabla 7 y 8.

Tabla 7. Índices estadísticos de las estaciones seleccionadas

Estación	Duración (min)	Mínimo	Primer cuartil Q1	Mediana	Media	Tercer cuartil Q3	Máximo
Cancán - Soldados	15	5.5	6.552	7.5	8.898	9.25	22.862
	30	6.5	8.5	10	11.26	11.95	23.88
	60	7.5	10.25	12	13.23	14.35	23.88
	120	7.9	12.5	14	15.27	17.75	25.5
	360	9.7	16	19	18.91	20.25	34.04
Chanlud	15	4.5	7.325	10.15	9.531	11.25	14
	30	4.5	10	13.25	13.06	16.57	20.5
	60	5.3	13.38	15.5	14.9	17.1	20.5
	120	5.3	15.5	17	16.77	19.6	23.7
	360	9.3	20.5	22	22.04	24.05	31.6
El Labrado	15	4.5	6.5	8	8.712	8.5	19
	30	7	8.1	11	11.65	13.1	20
	60	7.5	10.7	14	14.07	17	21.5
	120	10.5	12	15.5	16.69	18.5	30
	360	16.5	19	21.5	22.58	26	31.5
El Portete	15	7	8	10	11.27	14	17.5
	30	7	11	12.5	14.31	16.5	26
	60	9.5	13	15	17.54	20.5	33
	120	9.5	15.5	17	20.58	26.5	35
	360	14.5	19	26	25.65	32.5	38
Gualaceo DJ Pamar	15	7	9.85	11.75	12.52	15.06	25.5
	30	7.112	12.5	18.268	17.551	21.645	39
	60	7.112	14.125	23	21.263	25.285	42
	120	7.112	17.375	24.25	23.908	30	44
	360	7.112	19.25	27.75	28.55	34	68.072

Estación	Duración (min)	Mínimo	Primer cuartil Q1	Mediana	Media	Tercer cuartil Q3	Máximo
Jima	15	3.556	7.625	9	9.617	11.625	20.578
	30	3.556	9	11	11.973	12.625	22.5
	60	4.318	12.125	13.75	14.561	17	28.5
	120	5.08	14.38	18	17.77	21.52	28.5
	360	5.334	19.5	22.547	23.749	27.5	43

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la Tabla 7, en las primeras seis estaciones se puede observar que la estación que menores valores de precipitación registra es “Cancán – Soldados” y la que mayores valores de precipitación registra es “Gualaceo DJ Pamar”. En la Tabla 8 se expone el análisis de datos para las estaciones restantes.

Tabla 8. Análisis de datos de las estaciones: La Esmeralda, Machángara, Matadero en Sayausí, Tarqui DJ Cumbe, Ucubamba y Yanuncay en Pucán

Estación	Duración (min)	Mínimo	Primer cuartil Q1	Mediana	Media	Tercer cuartil Q3	Máximo
La Esmeralda	15	2.794	9.5	11.5	16.783	15	52.6
	30	4.064	13	15.5	20.669	19.5	52.6
	60	6.096	16.5	20.5	25.11	26.5	58.442
	120	8.128	20	22.5	30.012	33	79.252
	360	13.72	22.5	27	35.95	36	82.3
Machángara DJ Chulco	15	3.9	9.05	11.25	12.16	13.62	25
	30	5	12.55	16.7	18.27	20.38	45.5
	60	5.3	15.78	21.8	24.28	29.38	57
	120	5.6	20.5	22.75	26.39	30	58.5
	360	6.1	24.85	30.95	32.37	40.12	60.5
Matadero En Sayausí	15	3.3	9.425	11.75	13.141	14.5	37.5
	30	3.5	12.53	16	17.34	19.75	45
	60	4.2	15.25	19.75	21.05	23.52	48
	120	7	18.62	23.35	26.15	30	61.5
	360	7.2	26.85	28.5	31.07	35.5	61.5
Tarqui DJ Cumbe	15	7.5	8.5	11.5	11.88	15	15.5
	30	10.5	12.5	14.5	15.69	16.5	26
	60	12	16	17	19.19	24	26.5
	120	14.5	17	18.5	21.69	26.5	31
	360	20	21.5	24.5	25.23	27.5	36.5
Ucubamba	15	9.5	12	15.5	15.65	18	24.6
	30	12	15	20	22.09	27.5	40.8
	60	17	21.5	26.1	28.56	30.5	52
	120	17	27.5	30.5	32.8	39	62.5
	360	21.5	34.5	40	41.19	44	65

Estación	Duración (min)	Mínimo	Primer cuartil Q1	Mediana	Media	Tercer cuartil Q3	Máximo
Yanuncay En Pucán	15	5.5	7.5	10.5	10.9	14	18.54
	30	5.5	9.5	14	14.51	18.5	24.64
	60	10.5	14	16.5	19.29	23	41.15
	120	10.5	15.5	18.5	22.16	23	57.4
	360	11.5	19.5	21.5	25.89	25.5	58.42

Fuente: *Elaboración propia*

Referente a la Tabla 8, en las seis estaciones analizadas se puede observar que la estación con mayores valores de precipitación registrada es “Ucubamba” y la estación con menores registros de precipitación es “Tarqui DJ Cumbe”.

4.5 Precipitaciones

En la Tabla 9 se aprecian los valores de las precipitaciones máximas diarias calculadas en los distintos periodos de retorno analizados.

Tabla 9. Precipitaciones máximas diarias calculadas

Estación	Precipitación máxima para 24 horas (mm)					Precipitación media anual
	5 años	10 años	20 años	50 años	100 años	
Cancán - Soldados	15.2	23.1	33.1	40.5	47.9	693.24
Yanuncay en Pucán	23.1	35.0	49.9	61.0	72.0	976.87
Gualaceo D.J. Pamar	20.6	31.1	44.4	54.3	64.1	834.98
Jima	22.1	33.6	48.1	58.9	69.6	862.01
Machángara DJ Chulco	22.5	34.6	49.9	61.3	72.5	1023.02
Chanlud	27.0	41.2	59.1	72.4	85.6	1393.54
El Labrado	24.2	36.8	52.8	64.6	76.4	1187.81
Tarqui D.J. Cumbe	13.1	20.3	29.3	36.0	42.7	791.36
El Portete	17.3	26.8	38.8	47.8	56.6	1031.73
Ucubamba en Etapa	15.0	22.9	32.9	40.3	47.7	752.78
La Esmeralda	36.5	55.8	80.3	98.5	116.5	1446.66
Matadero en Sayausí	22.0	33.0	46.8	57.1	67.3	925.14

Fuente: *Elaboración propia*

A partir de la Tabla 9 se construyeron las isoyetas que se presentan en las gráficas a continuación.

CAPITULO V

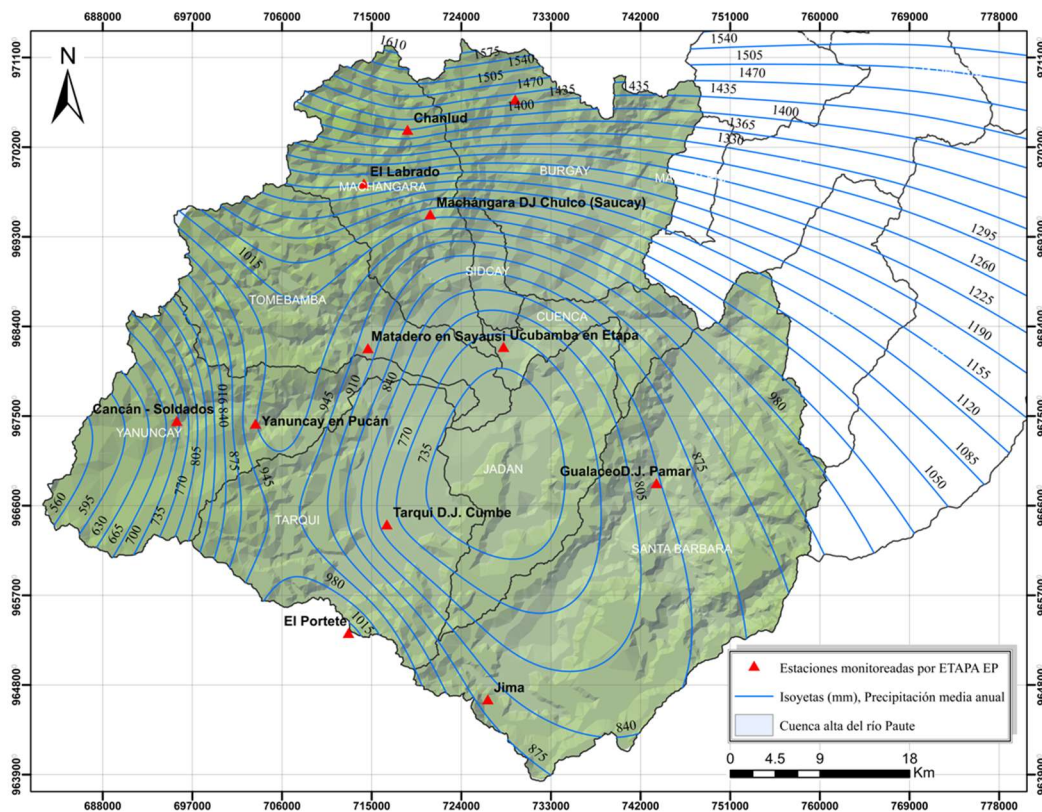
5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Mapas de Isoyetas

Mediante la ejecución y procesamiento de información geográfica, se elaboraron mapas de isoyetas en los que se ve reflejada la ubicación de las estaciones analizadas y su área de influencia en las subcuencas de estudio con la representación del comportamiento de la precipitación y precipitación media anual.

En el Gráfico 13, se reflejan las isoyetas generadas a partir de la precipitación media anual.

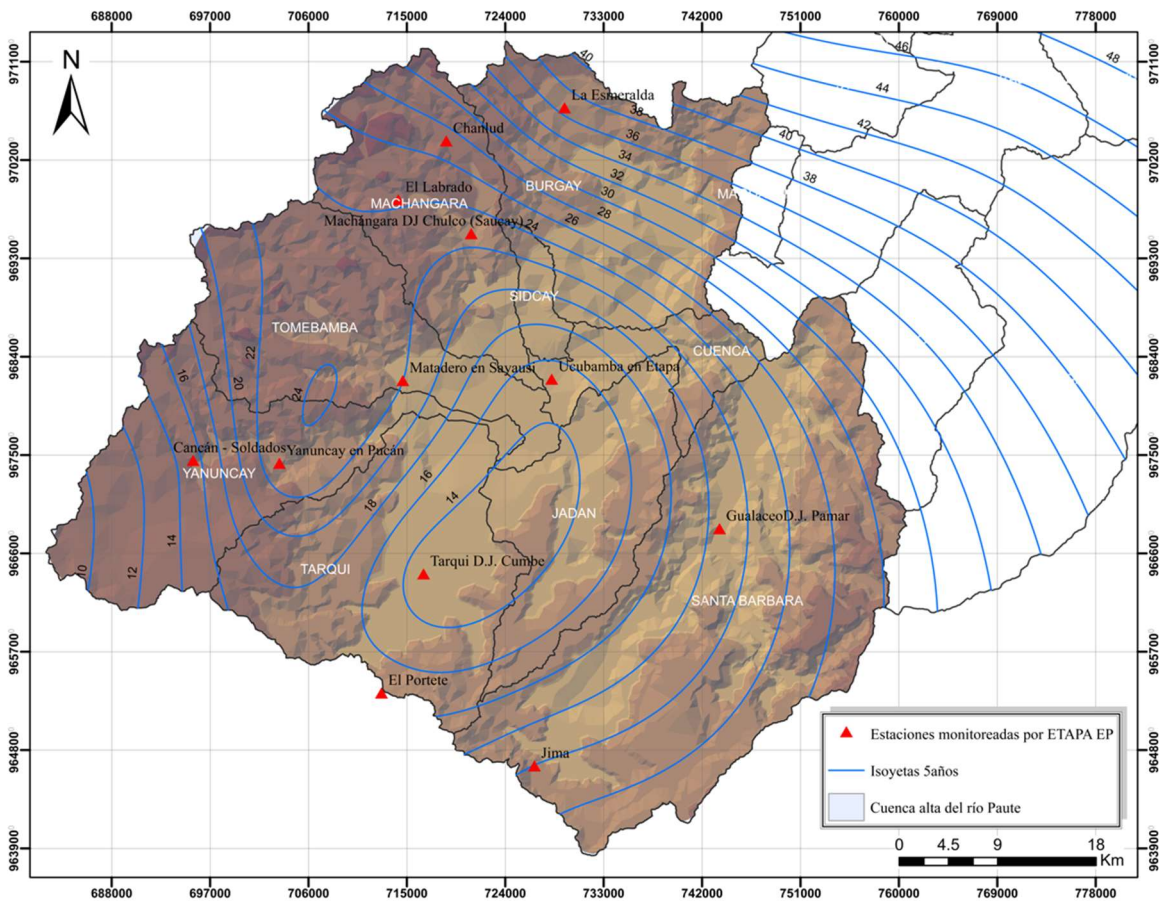
Gráfico 13. Isoyetas generadas a partir de la precipitación media anual.



Fuente: Elaboración propia

De acuerdo al Gráfico 13, se puede observar que la precipitación media anual está en un rango de 1000 mm en la parte superior de la subcuenca del río Tarqui, a 1610 mm en la parte alta de las subcuencas del río Machángara.

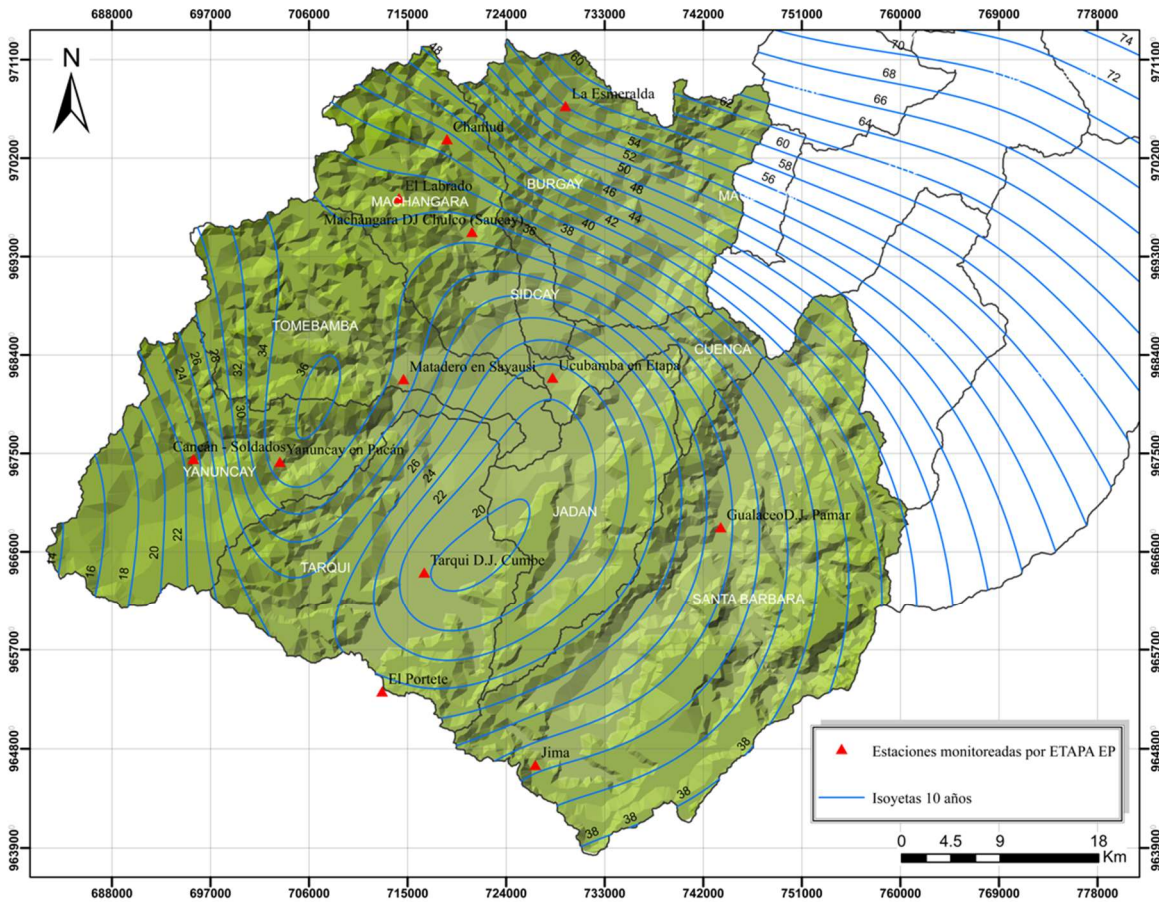
Gráfico 14. Isoyetas de precipitaciones para un periodo de retorno de 5 años.



Fuente: Elaboración propia

Referente al Gráfico 14, se presenta el mapa de isoyetas para un periodo de retorno de cinco años. Se puede observar que la precipitación se encuentra en un rango desde 20 mm a 42 mm, desde la parte alta de la subcuenca del río Santa Barbara hasta la parte alta en la subcuenca del río Burgay.

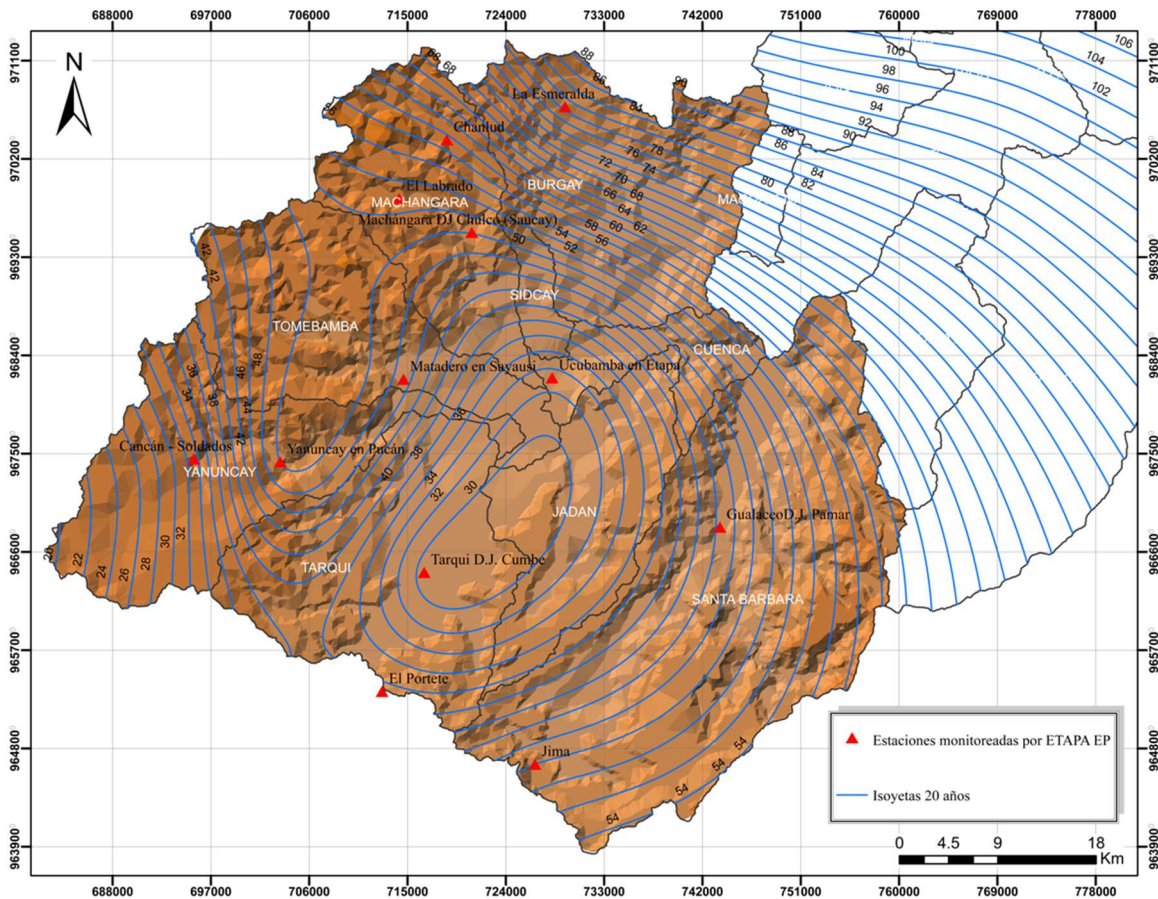
Gráfico 15. Isoyetas de precipitaciones para un periodo de retorno de 10 años.



Fuente: Elaboración propia

En el Gráfico 15 se representan las isoyetas para un periodo de retorno de diez años. Se puede evidenciar la variación de precipitación que se encuentra en un rango de 34 mm en la parte central de la subcuenca del río Tomebamba a 64 mm en la parte alta de la subcuenca del río Burgay.

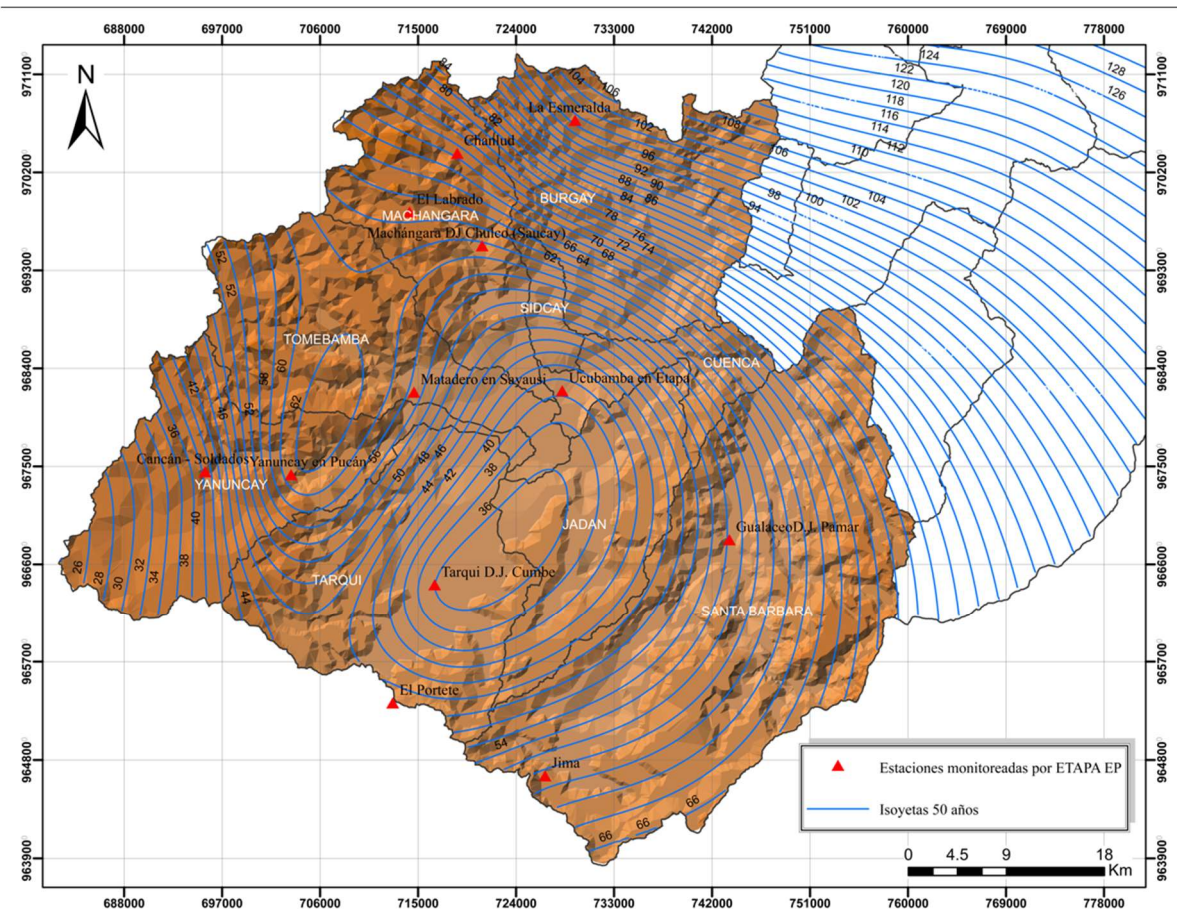
Gráfico 16. Isoyetas de precipitaciones para un periodo de retorno de 20 años.



Fuente: Elaboración propia

La precipitación observada en el mapa de Isoyetas correspondiente a un periodo de retorno de 20 años representa un rango de 38 mm en la parte baja de la subcuenca del río Yanuncay a 90 mm en la parte alta del río Burgay en relación a la estación hidrometeorológica ubicada en la subcuenca. La precipitación muestra similares resultados al de mapas de isoyetas correspondientes a gráficos anteriores con un incremento del valor de la precipitación.

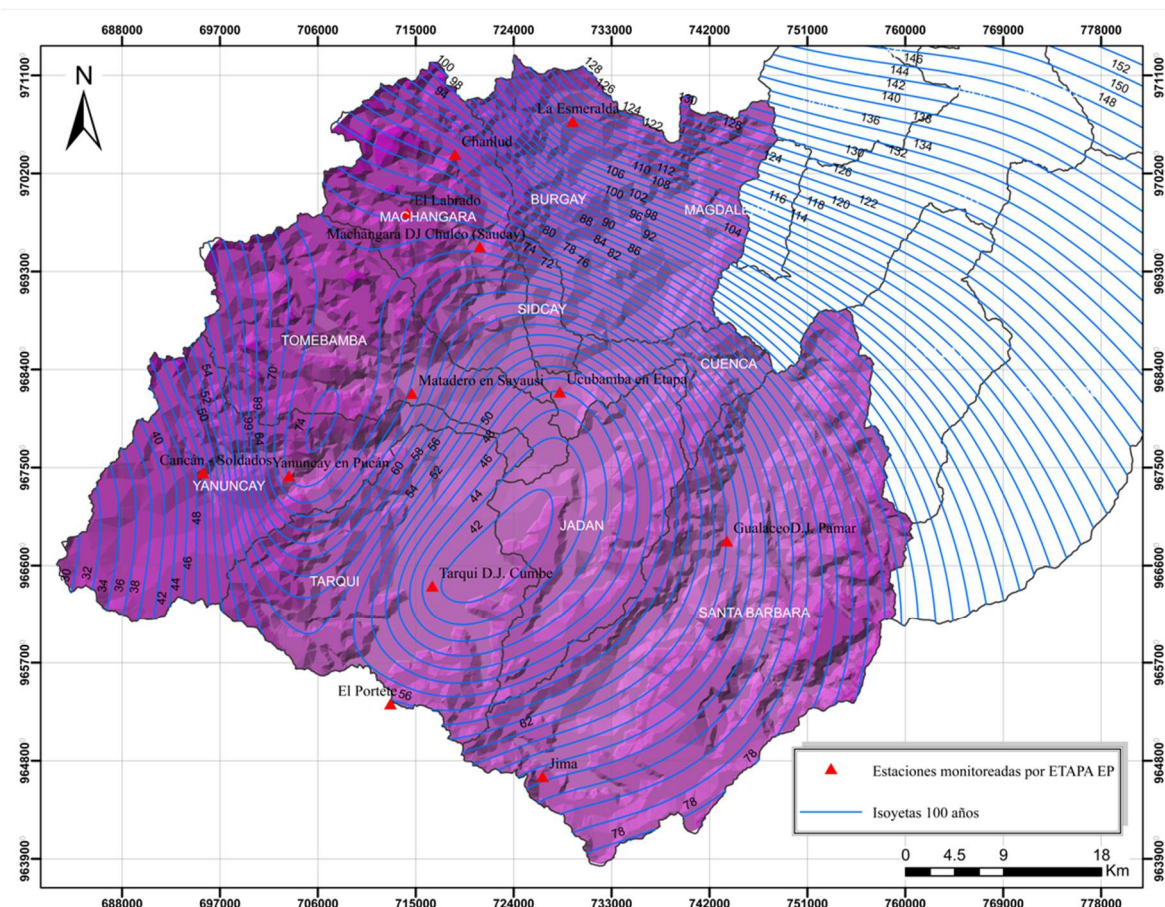
Gráfico 17. Isoyetas de precipitaciones para un periodo de retorno de 50 años.



Fuente: Elaboración propia

En el Gráfico 17 se presenta el comportamiento para un periodo de retorno de cincuenta años. La precipitación en la cuenca alta del río Paute está en un rango de 26 mm a 68 mm y se proyecta desde la parte alta de la subcuenca del río Santa Barbara hasta la parte media de la subcuenca del río Machángara; a diferencia de imágenes anteriores se puede evidenciar el cambio del comportamiento e incluso se observa las líneas isoyetas con más variación en las subcuencas de los ríos Machángara y Burgay.

Gráfico 18. Isoyetas de precipitaciones para un periodo de retorno de 100 años.



Fuente: Elaboración propia

En el Gráfico 18 se tienen las isoyetas para un periodo de retorno de 100 años. Se presenta la precipitación en un rango de 58 mm en la parte baja de la subcuenca del río Yanuncay a 130 mm en la zona alta del río Burgay.

Mediante el geoprocésamiento se ejemplificó el comportamiento de las precipitaciones registradas para diferentes periodos de retorno sobre el área de la cuenca alta del río Paute, con el fin de identificar las zonas con mayor cantidad de precipitaciones y estimar los valores esperados a futuro.

5.2 Ajustes de probabilidad

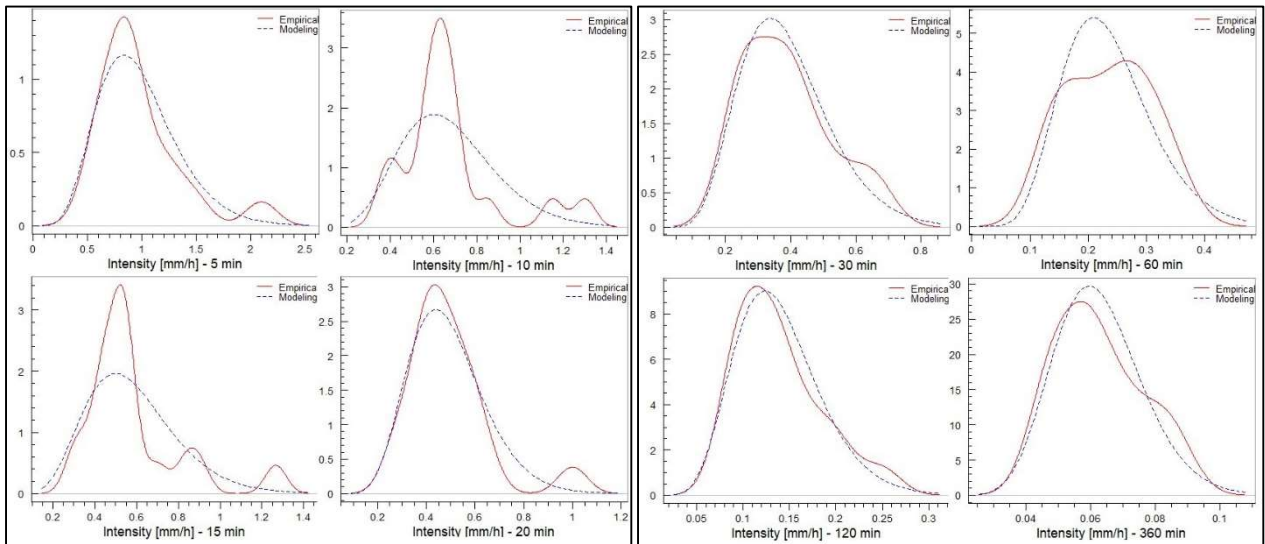
Con la ayuda del lenguaje de programación se evaluaron seis distribuciones de probabilidad para elegir la función que mejor se ajusta a la distribución de los datos para los diferentes periodos de tiempo considerados (5, 10, 15, 20, 30, 60, 120 y 360 minutos). Los resultados obtenidos con las funciones Gamma, Gumbel, Gev y Normal permitieron identificar visualmente un mejor ajuste para cada estación, mientras que las funciones Pearson y Exponencial no mostraron resultados acertados, por tal motivo no fueron considerados en la investigación.

En el Gráfico 19 se observa el comportamiento de las cuatro distribuciones de probabilidad evaluadas para la estación “El Labrado”, siendo esta seleccionada por ser la estación con mayor volumen de información procesada, mientras que la información presentada en el Gráfico 20 corresponde a la estación “El Portete” que, a su vez, es la estación con menor información procesada. Este análisis de ajuste de probabilidad se realizó para cada una de las doce estaciones seleccionadas en esta investigación, estos resultados se muestran en el Anexo 3.

El procesamiento de información fue realizado mediante la implementación del lenguaje de programación en la plataforma de Rstudio, a continuación, se presentan gráficas que muestran el ajuste de probabilidad realizado para las estaciones seleccionadas, donde las líneas de color azul indican el comportamiento del modelo esperado, mientras que las líneas de color rojo indican el comportamiento real de los datos procesados. Cada gráfica de los resultados corresponde a las diferentes duraciones de tiempo seleccionadas para esta investigación.

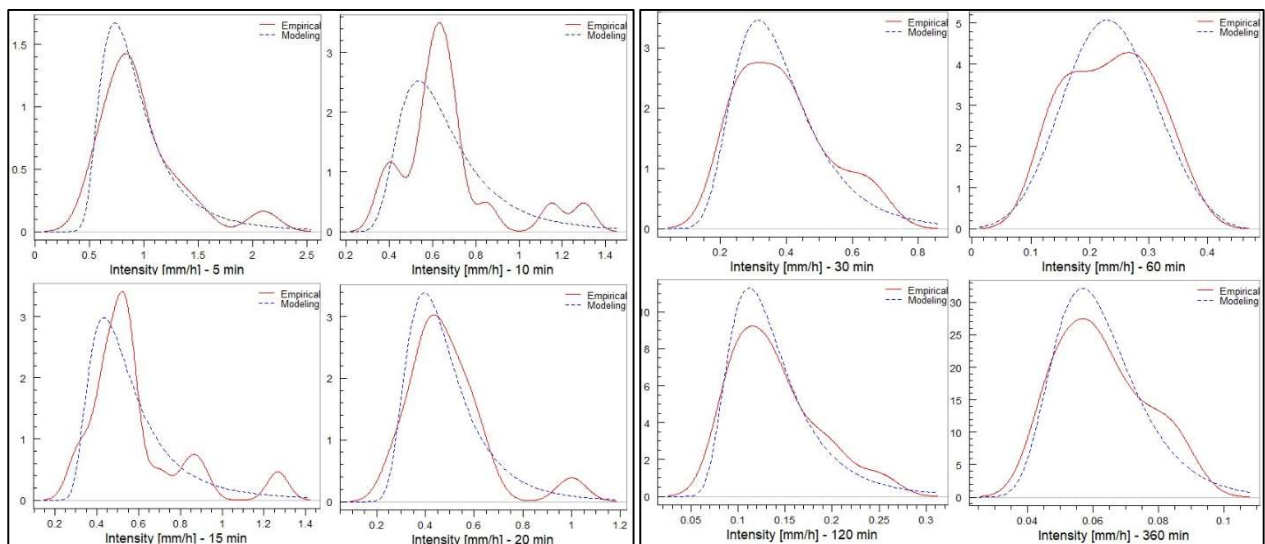
Gráfico 19. Ajuste de probabilidad para la estación EL LABRADO

(a) Distribución Gamma



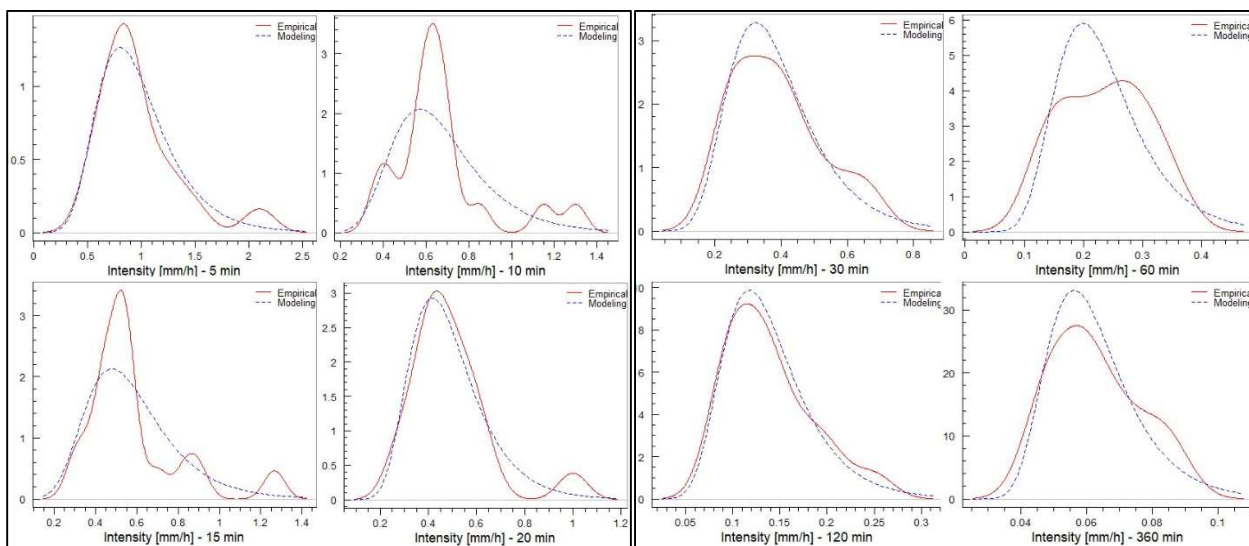
Fuente: *Elaboración propia*

(b) Distribución Gev



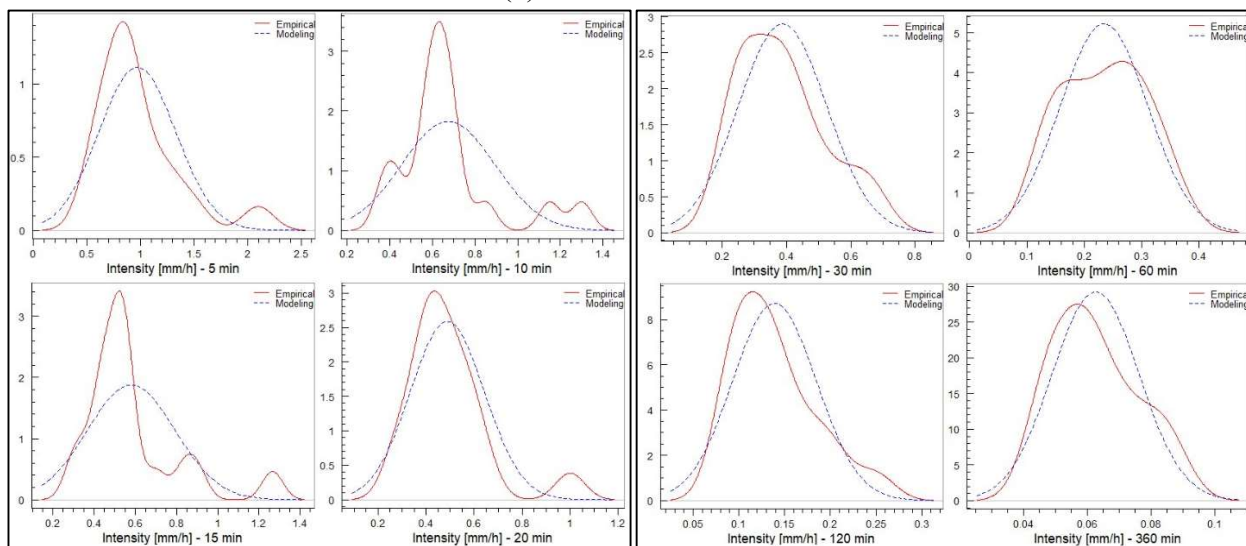
Fuente: *Elaboración propia*

(c) Distribución Gumbel



Fuente: Elaboración propia

(d) Distribución Normal

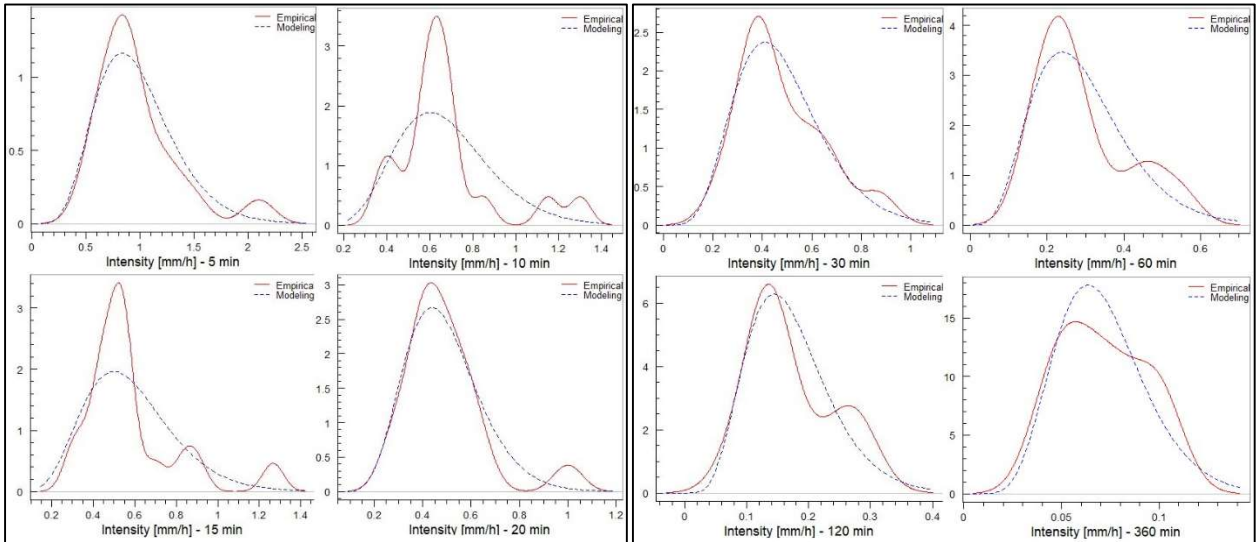


Fuente: Elaboración propia

Los resultados conseguidos en la estación “El Labrado” permiten observar que las distribuciones de probabilidad “Gama” y “Normal” no se ajustan correctamente para las duraciones de tiempo más corta; por otra parte, la distribución de “Gev” llega a justarse de mejor manera al comportamiento esperado; sin embargo, la distribución de “Gumbel” es la que mejor se ajusta y representa mejor el comportamiento de la información procesada.

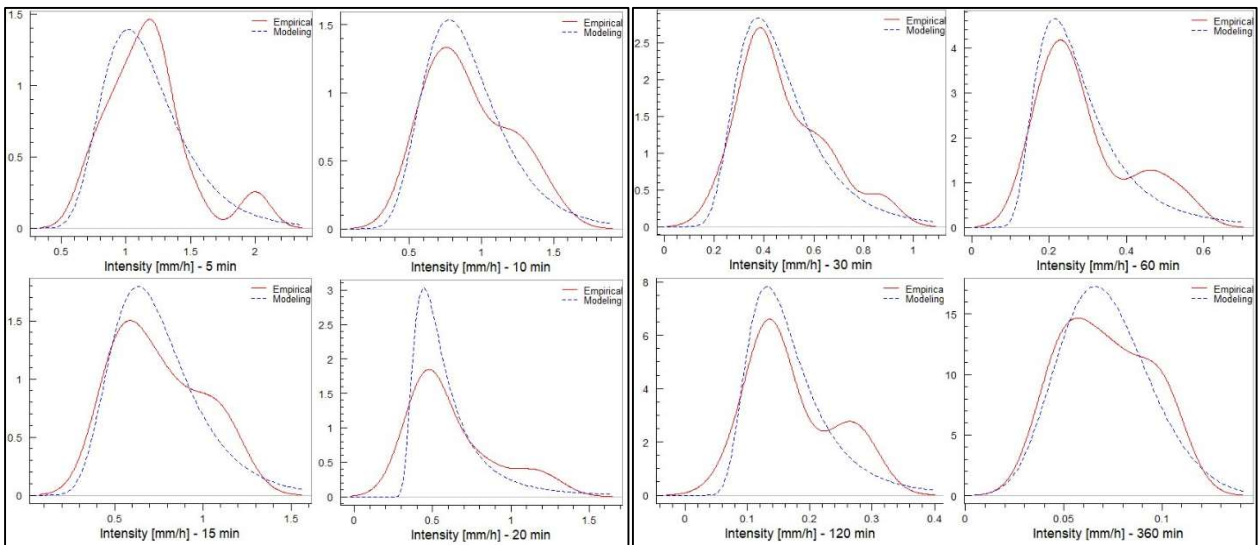
Gráfico 20. Ajuste de probabilidad para la estación EL PORTETE

(a) Distribución Gamma



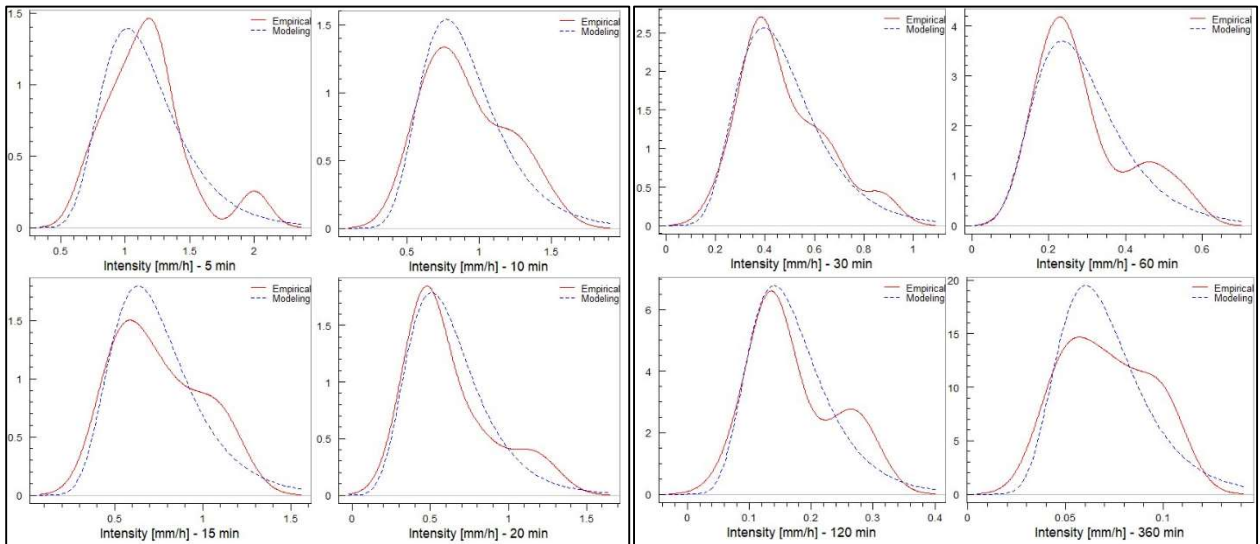
Fuente: *Elaboración propia*

(b) Distribución GEV



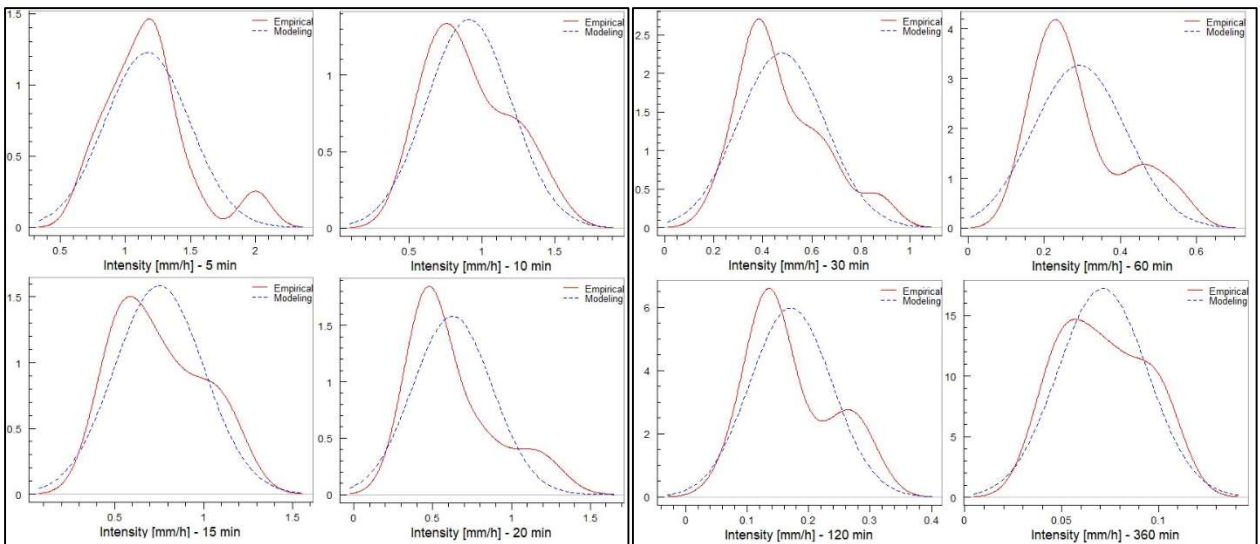
Fuente: *Elaboración propia*

(c) Distribución Gumbel



Fuente: *Elaboración propia*

(d) Distribución Normal



Fuente: *Elaboración propia*

Respecto a la estación “El Portete”, se puede observar que la distribución “Gamma” fue la que menos se ajustó a los datos analizados, las distribuciones “Gev” y “Normal” tuvieron un comportamiento más acertado, pero, sin duda, la distribución de “Gumbel” fue la distribución que muestra más cercanía al comportamiento real de la información procesada.

Con el análisis de las distribuciones de probabilidad de cada una de las estaciones se comprobó que la distribución de Gumbel fue la distribución que mejor se ajusta al análisis de precipitaciones en el área de la cuenca alta del río Paute; por tal motivo, se utilizó esta distribución para la construcción de las curvas IDF presentadas más adelante. Cabe recalcar también que, el INAMHI en su estudio de lluvias intensas, en su versión (2) del año 2019, recomienda utilizar la distribución de Gumbel y utiliza esta distribución para mostrar el comportamiento de las curvas IDF de dos estaciones coincidentes con el presente estudio.

En el Anexo 3, se exponen las gráficas de ajuste de probabilidad con la distribución de Gumbel para cada las doce estaciones hidrometeorológicas seleccionadas en la presente investigación.

5.3 Prueba de Bondad de Ajuste

Las medidas de bondad de ajuste permiten relacionar los datos observados de la variable de intensidad con una función matemática establecida para determinar el ajuste correcto de datos a una ecuación propuesta.

Con las series de datos ajustados a la función de distribución de probabilidad de Gumbel como mecanismo de análisis para verificar que la distribución de probabilidad elegida se ajusta correctamente a los datos se realizó el test de bondad de ajuste “Chi Cuadrado” con un nivel de significancia o confianza de 95%. Esto quiere decir que, el valor encontrado al aplicar el test debe ser mayor a 0.05 para dar validez a la hipótesis. Los resultados de este análisis se presentan en la tabla 9.

Mediante la aplicación del test de bondad de ajuste se puede observar que, en la mayoría de las estaciones y duraciones de tiempo, el valor supera el 5% o 0.05. Por tal motivo, se comprueba la hipótesis de que la distribución de probabilidad de Gumbel es la que mejor se ajusta. Los cuadros resaltados de color verde en la

Tabla 10 corresponden a los valores más altos encontrados que, a su vez, refieren un mejor ajuste a la distribución correspondiente.

Tabla 10. Test de Bondad de ajuste CHI CUADRADO

Estación	Distribución Aplicada	Duraciones de tiempo (minutos)							
		5	10	15	20	30	60	120	360
Cancán - Soldados	Normal	0.05978	0.18207	0.00399	0.00001	0.00001	0.38614	0.06806	0.34246
	Gamma	0.15500	0.41586	0.10170	0.00077	0.00004	0.65148	0.14833	0.54689
	Gumbel	0.15402	0.44864	0.45160	0.00593	0.00012	0.77668	0.22436	0.59185
Chanlud	Normal	0.00174	0.04167	0.28539	0.02466	0.48393	0.98062	0.62148	0.18793
	Gamma	0.00755	0.03323	0.15534	0.01943	0.49200	0.77785	0.26753	0.10795
	Gumbel	0.01295	0.01793	0.11027	0.01265	0.50744	0.45293	0.09914	0.02374
El Labrado	Normal	0.00028	0.05159	0.00322	0.16719	0.15748	0.46370	0.42819	0.37774
	Gamma	0.00230	0.12915	0.01283	0.39813	0.27114	0.32100	0.49105	0.35140
	Gumbel	0.00652	0.18150	0.02739	0.61139	0.28596	0.29880	0.41638	0.23446
El Portete	Normal	0.16390	0.29119	0.12060	0.00147	0.09614	0.08373	0.00032	0.34979
	Gamma	0.21498	0.38819	0.12930	0.01291	0.21780	0.20194	0.00287	0.48995
	Gumbel	0.23028	0.42976	0.11007	0.04228	0.32074	0.29216	0.00770	0.59545
Gualaceo DJ Pamar	Normal	0.21926	0.19886	0.24270	0.02229	0.10087	0.03278	0.40421	0.06704
	Gamma	0.25567	0.18934	0.29254	0.03643	0.13096	0.04968	0.42192	0.06688
	Gumbel	0.17168	0.11703	0.27016	0.04817	0.20585	0.13072	0.59322	0.05237
Jima	Normal	0.04243	0.28874	0.39516	0.01107	0.11773	0.67338	0.84904	0.33879
	Gamma	0.44813	0.46407	0.40453	0.02931	0.30626	0.80161	0.67913	0.20581
	Gumbel	0.58101	0.51097	0.40884	0.02804	0.37189	0.70036	0.51078	0.12365
La Esmeralda	Normal	0.00000	0.00000	0.00003	0.00000	0.00040	0.01301	0.00000	0.00427
	Gamma	0.00000	0.00021	0.00551	0.00063	0.01301	0.18374	0.00109	0.09497
	Gumbel	0.00001	0.00032	0.01222	0.00244	0.02953	0.28864	0.00174	0.21456
Machángara	Normal	0.36455	0.10645	0.27573	0.31034	0.21695	0.25574	0.10096	0.46661
	Gamma	0.33755	0.12182	0.50436	0.57786	0.58273	0.44707	0.15531	0.64357
	Gumbel	0.31047	0.12351	0.56264	0.66876	0.71933	0.52392	0.18088	0.65109
Matadero en Sayausí	Normal	0.17769	0.02434	0.01719	0.00738	0.08021	0.00357	0.00705	0.00046
	Gamma	0.43640	0.20835	0.17085	0.04549	0.29032	0.00482	0.02408	0.00065
	Gumbel	0.53513	0.32269	0.32671	0.06600	0.37216	0.00582	0.03549	0.00054
Tarqui DJ Cumbe	Normal	0.10477	0.44585	0.03191	0.02220	0.14668	0.09291	0.00721	0.32779
	Gamma	0.09855	0.45090	0.03122	0.05435	0.21911	0.09394	0.01720	0.37394
	Gumbel	0.09508	0.41288	0.03594	0.09742	0.22962	0.09643	0.03601	0.33153
Ucubamba en ETAPA	Normal	0.52986	0.26646	0.08062	0.10887	0.05152	0.14261	0.21999	0.24664
	Gamma	0.61536	0.19748	0.13276	0.15945	0.13217	0.39979	0.25727	0.28454
	Gumbel	0.52702	0.13377	0.17064	0.19576	0.15132	0.66661	0.23757	0.25284
Yanuncay en Pucán	Normal	0.11342	0.27652	0.05979	0.17216	0.14718	0.04667	0.00873	0.00077
	Gamma	0.17988	0.35026	0.11143	0.15156	0.12348	0.12348	0.14932	0.01746
	Gumbel	0.19704	0.28261	0.10937	0.12540	0.10541	0.21843	0.39135	0.06141

Fuente: Elaboración propia

5.4 Curvas Intensidad, Duración, Frecuencia (IDF)

Como se indicó en el capítulo 3, las ecuaciones de las curvas IDF para cada estación fueron obtenidas mediante la librería “**IDFtool**” con su función “**IDFCurve**” la cual, calcula curvas IDF por duración de tiempo específico y diferentes periodos de retorno. Esta función permite ajustar diferentes funciones de distribución de probabilidad mediante seis métodos de ajuste para determinar la intensidad para diferentes duraciones y periodos de retorno específicos.

La herramienta IDFtool es propuesta por David Zamora, para generar Curvas IDF a partir de la Ecuación 4 (Zamora, 2016/2023),

$$I = \frac{A}{(B+D)^C} \quad \text{Ecuación 4}$$

Dónde:

I: es la intensidad en mm/h

D: es la duración de tiempo en min.

A, B y C: son parámetros de ajuste.

Los parámetros de ajuste A, B y C son obtenidos para cada periodo de retorno, y están calibrados por el algoritmo de Levenberg-Marquardt (mínimos cuadrados); la herramienta IDFCurve entrega estos valores a partir de datos de entrada que en este caso son las intensidades de precipitación observadas, de la siguiente manera:

Gráfico 21. Parámetros de ajuste

	A	B	C
2	659.6649	11.29214	0.9252021
3	1112.4975	14.04741	1.0049618
5	1833.1114	16.68442	1.0797967
10	3118.9192	19.47505	1.1578044
25	5439.1646	22.35891	1.2374448
50	7712.6610	24.14277	1.2863148
100	10462.3798	25.67899	1.3281995

Fuente: *Elaboración propia*

5.4.1 Cancán – Soldados

Las ecuaciones que describen el comportamiento y generan las curvas IDF para la estación

Cancán – Soldados, son:

Tabla 11. Ecuaciones para la estación Cancán - Soldados

TR	Ecuaciones
2	$I = 659.6649 * (11.29214 + D)^{-0.9252021}$
5	$I = 1833.1114 * (16.68442 + D)^{-1.0797967}$
10	$I = 3118.9192 * (19.47505 + D)^{-1.1578044}$
25	$I = 5439.1646 * (22.35891 + D)^{-1.2374448}$
50	$I = 7712.6610 * (24.14277 + D)^{-1.2863148}$
100	$I = 10462.3798 * (25.67899 + D)^{-1.3281995}$

Fuente: *Elaboración propia*

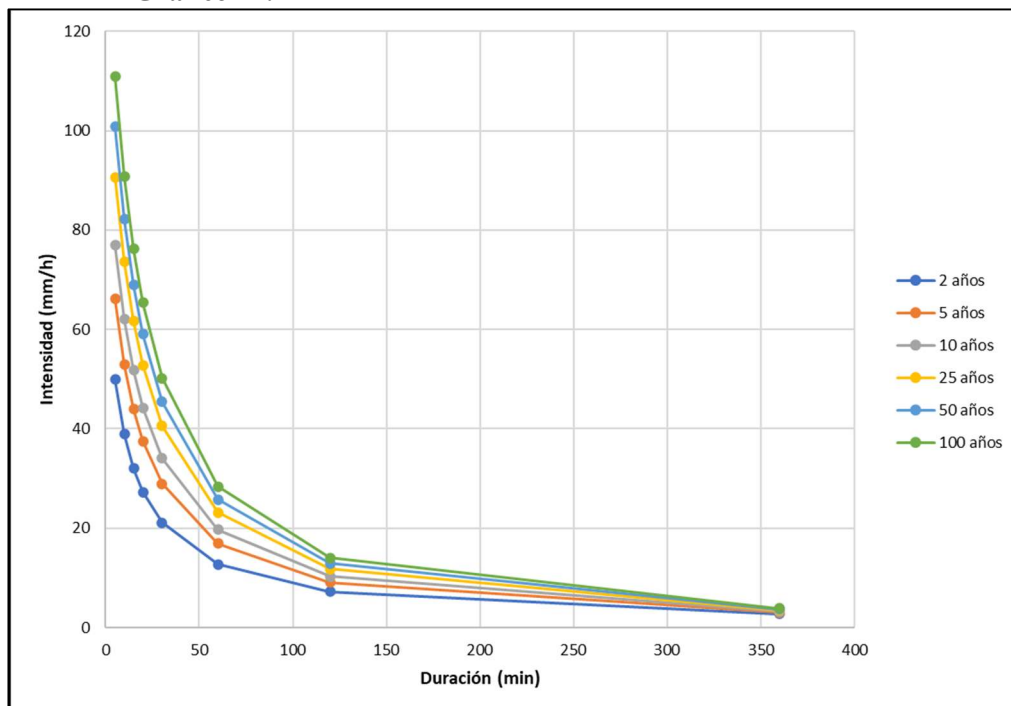
Donde:

I: Intensidad (mm/h)

TR: Periodo de retorno (años)

D: Duración (min)

Gráfico 22. Curvas IDF de la estación CANCAN - SOLDADOS



Fuente: *Elaboración propia*

Tabla 12. Intensidades Máximas CANCÁN - SOLDADOS

TR	Duraciones (min)							
	5	10	15	20	30	60	120	360
2	49.89	38.95	32.04	27.27	21.10	12.73	7.24	2.77
5	66.13	52.86	43.91	37.49	28.89	16.91	9.06	3.03
10	76.94	62.04	51.75	44.24	34.06	19.67	10.26	3.22
25	90.62	73.62	61.63	52.76	40.59	23.17	11.77	3.47
50	100.78	82.21	68.95	59.07	45.43	25.76	12.89	3.65
100	110.87	90.72	76.22	65.34	50.23	28.34	14.00	3.84

Fuente: *Elaboración propia*

De acuerdo a la información analizada en el Gráfico 22 de la estación “Cancán Soldados” se puede observar curvas IDF muy moduladas, con intensidades entre 20 mm/h a 110 mm/h de acuerdo al periodo de retorno escogido en un intervalo de tiempo corto de 0 a 50 minutos. Mientras que para intensidades menores se observan intervalos de tiempo más largos de hasta 352 minutos, que describen el comportamiento de las precipitaciones en la zona media alta de la subcuenca del río Yanuncay.

5.4.2 Chanlud

Las ecuaciones que describen el comportamiento y generan las curvas IDF para la estación Chanlud, son:

Tabla 13. Ecuaciones para la estación Chanlud

TR	Ecuaciones
2	$I = 539.0761 * (8.704473 + D)^{-0.8572541}$
5	$I = 582.2452 * (7.012148 + D)^{-0.8230699}$
10	$I = 617.6191 * (6.289247 + D)^{-0.8073621}$
25	$I = 666.7118 * (5.627942 + D)^{-0.7923814}$
50	$I = 705.2262 * (5.256628 + D)^{-0.7837041}$
100	$I = 744.6672 * (4.957395 + D)^{-0.7765667}$

Fuente: *Elaboración propia*

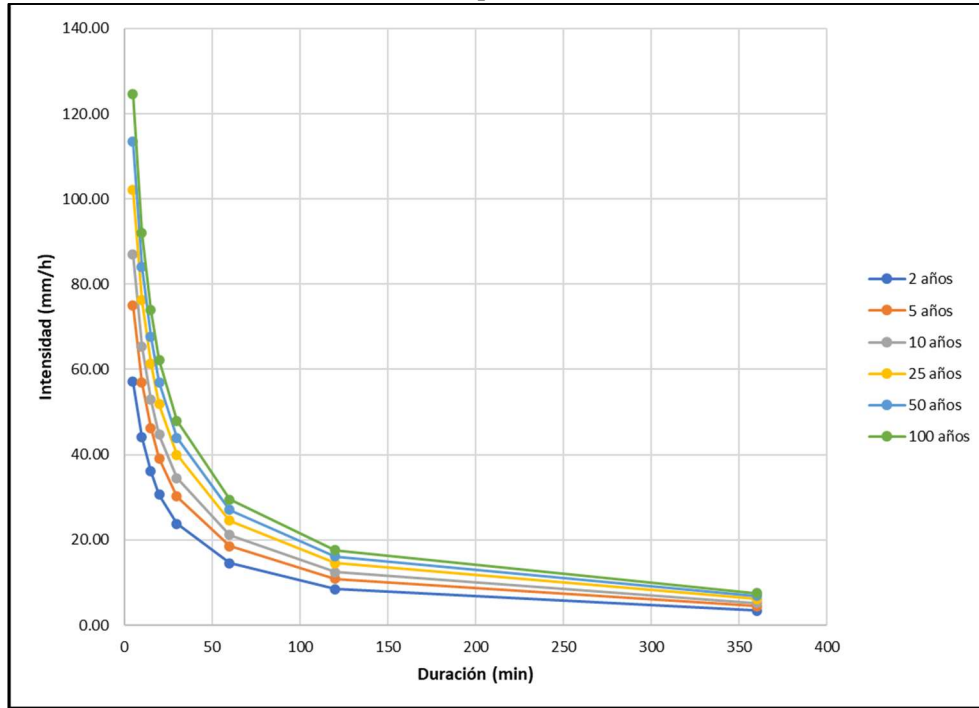
Donde:

I: Intensidad (mm/h)

TR: Periodo de retorno (años)

D: Duración (min)

Gráfico 23. Curvas IDF para la estación CHANLUD



Fuente: *Elaboración propia*

Tabla 14. Intensidades Máximas CHANLUD

TR	Duraciones (min)							
	5	10	15	20	30	60	120	360
2	57.16	43.78	35.73	30.33	23.47	14.35	8.38	3.40
5	75.25	56.51	45.71	38.62	29.80	18.28	10.80	4.51
10	87.26	64.90	52.29	44.10	34.00	20.90	12.42	5.26
25	102.47	75.49	60.59	51.02	39.29	24.22	14.48	6.21
50	113.76	83.34	66.74	56.14	43.23	26.68	16.01	6.92
100	124.98	91.12	72.84	61.23	47.13	29.13	17.53	7.62

Fuente: *Elaboración propia*

Las curvas IDF presentadas en el Gráfico 23I: Intensidad (mm/h)

TR: Periodo de retorno (años)

D: Duración (min)

Gráfico 23 de la estación “Chanlud” presentan valores de intensidades bajos con respecto a las demás estaciones, también se puede apreciar una intensidad máxima de 110 mm/h correspondiente al periodo de retorno de 100 años. Este análisis describe el comportamiento de las precipitaciones en la zona media alta de la subcuenca del río Machángara.

5.4.3 El Labrado

Las ecuaciones que describen el comportamiento y generan las curvas IDF para la estación

El Labrado, son:

Tabla 15. Ecuaciones para la estación El Labrado

TR	Ecuaciones
2	$I = 286.0999 * (4.198491 + D)^{-0.7209928}$
5	$I = 354.3696 * (3.668873 + D)^{-0.7154928}$
10	$I = 390.2127 * (3.483456 + D)^{-0.7134522}$
25	$I = 428.5121 * (3.327152 + D)^{-0.7116841}$
50	$I = 453.2851 * (3.242977 + D)^{-0.710713}$
100	$I = 475.5847 * (3.176138 + D)^{-0.7099323}$

Fuente: *Elaboración propia*

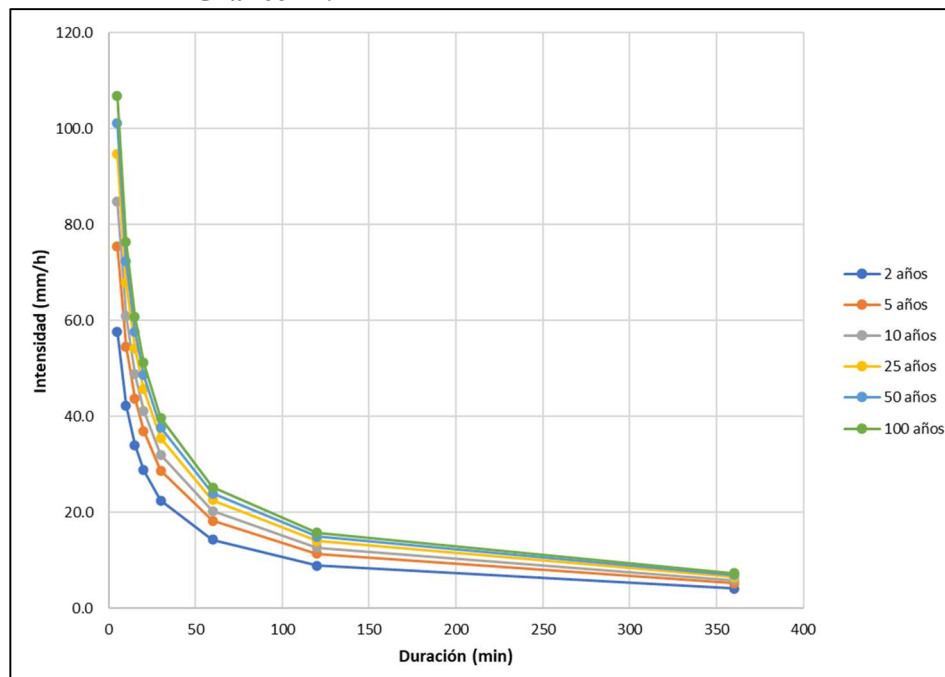
Donde:

I: Intensidad (mm/h)

TR: Periodo de retorno (años)

D: Duración (min)

Gráfico 24. Curvas IDF estación EL LABRADO



Fuente: *Elaboración propia*

Tabla 16. Intensidades Máximas estación EL LABRADO

TR	Duraciones (min)							
	5	10	15	20	30	60	120	360
2	57.77	42.24	33.99	28.76	22.41	14.23	8.84	4.07
5	75.57	54.56	43.65	36.83	28.62	18.15	11.28	5.22
10	84.88	60.99	48.70	41.05	31.87	20.19	12.56	5.81
25	94.81	67.84	54.08	45.55	35.34	22.38	13.92	6.45
50	101.23	72.27	57.56	48.45	37.57	23.79	14.81	6.87
100	107.00	76.25	60.68	51.07	39.59	25.06	15.60	7.24

Fuente: *Elaboración propia*

El comportamiento de las curvas IDF presentadas en el Gráfico 24 muestra intensidades entre 20 mm/h a 107 mm/h de acuerdo al periodo de retorno escogido. Para intensidades menores se observan intervalos de tiempo más largos de hasta 352 minutos que describen el comportamiento de las precipitaciones en la parte alta de la subcuenca del río Machángara.

5.4.4 El Portete

Las ecuaciones que describen el comportamiento y generan las curvas IDF para la estación El Portete, son:

Tabla 17. Ecuaciones para la estación El Portete

TR	Ecuaciones
2	$I = 692.6536 * (8.96019 + D)^{-0.8856514}$
5	$I = 1120.8656 * (11.92964 + D)^{-0.9112126}$
10	$I = 1475.0288 * (13.66388 + D)^{-0.9297381}$
25	$I = 1997.6518 * (15.59684 + D)^{-0.9518296}$
50	$I = 2436.0116 * (16.86334 + D)^{-0.9667957}$
100	$I = 2910.7798 * (17.99679 + D)^{-0.9803989}$

Fuente: *Elaboración propia*

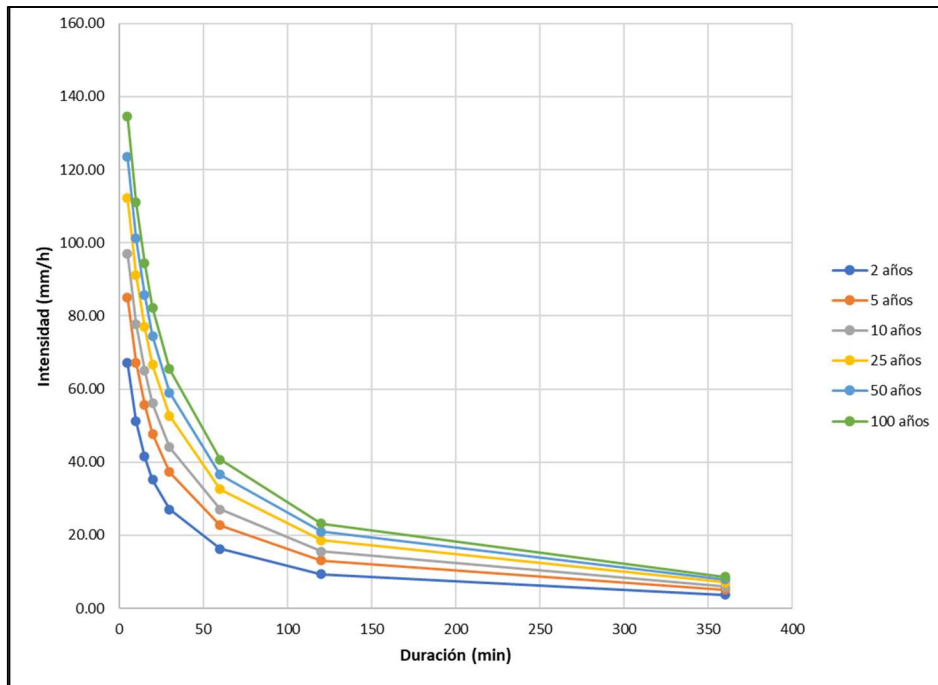
Donde:

I: Intensidad (mm/h)

TR: Periodo de retorno (años)

D: Duración (min)

Gráfico 25. Curvas IDF estación EL PORTETE



Fuente: *Elaboración propia*

Tabla 18. Intensidades Máximas estación EL PORTETE

TR	Duraciones (min)							
	5	10	15	20	30	60	120	360
2	67.07	51.14	41.57	35.15	27.03	16.30	9.36	3.69
5	85.11	67.23	55.76	47.74	37.25	22.78	13.11	5.10
10	97.07	77.85	65.14	56.10	44.05	27.09	15.57	5.99
25	112.20	91.24	76.99	66.66	52.66	32.55	18.66	7.08
50	123.44	101.15	85.76	74.49	59.06	36.61	20.96	7.87
100	134.60	110.99	94.47	82.27	65.43	40.65	23.23	8.65

Fuente: *Elaboración propia*

En el Gráfico 25 de la estación “El Portete” se observan valores de intensidades de entre 27 mm/h a 135 mm/h para periodos de tiempo cortos de 0 a 30 minutos, de acuerdo a los diferentes periodos de retorno analizados, mientras que, para periodos de tiempo más largos, se tienen intensidades que no superan los 40 mm/h, ejemplificando el comportamiento de las precipitaciones en la parte alta de la subcuenca del río Tarqui.

5.4.5 Gualaceo DJ Pamar

Las ecuaciones que describen el comportamiento y generan las curvas IDF para la estación

Gualaceo DJ Pamar, son:

Tabla 19. Ecuaciones para la estación Gualaceo DJ Pamar

TR	Ecuaciones
2	$I = 543.7186 * (6.997044 + D)^{-0.7905363}$
5	$I = 566.8782 * (5.299116 + D)^{-0.7312792}$
10	$I = 601.6811 * (4.655211 + D)^{-0.7083801}$
25	$I = 654.5936 * (4.101184 + D)^{-0.6884473}$
50	$I = 697.4284 * (3.803119 + D)^{-0.6776256}$
100	$I = 741.8018 * (3.569241 + D)^{-0.6690819}$

Fuente: *Elaboración propia*

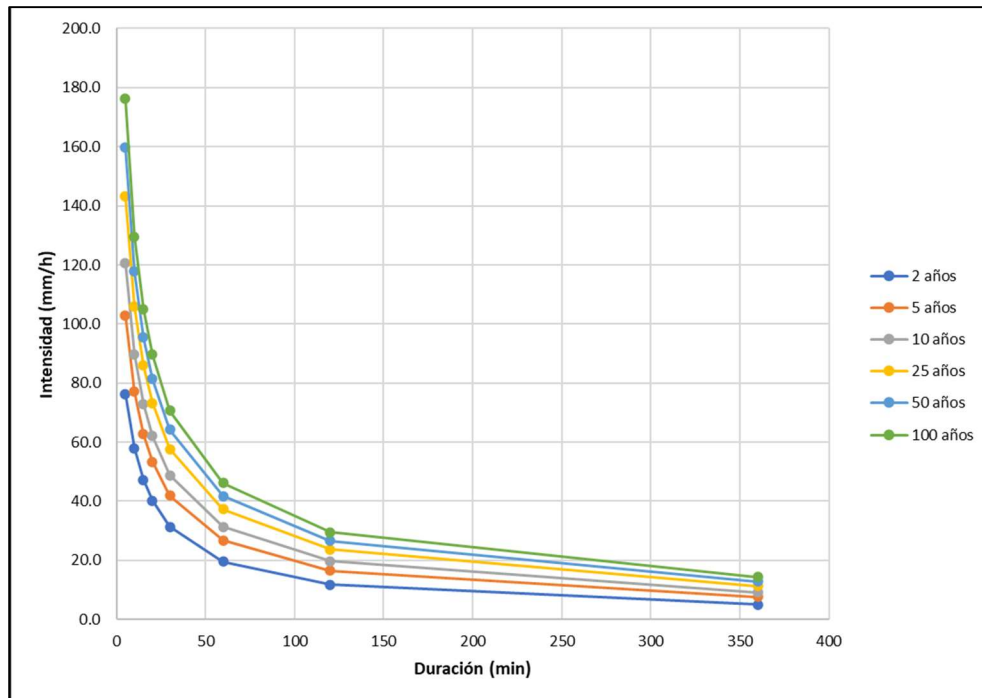
Donde:

I: Intensidad (mm/h)

TR: Periodo de retorno (años)

D: Duración (min)

Gráfico 26. Curvas IDF estación GUALACEO DJ PAMAR



Fuente: *Elaboración propia*

Tabla 20. Intensidades Máximas estación GUALACEO DJ PAMAR

TR	Duraciones (min)							
	5	10	15	20	30	60	120	360
2	76.27	57.91	47.23	40.17	31.31	19.58	11.81	5.10
5	103.00	77.12	62.71	53.39	41.84	26.69	16.57	7.58
10	120.72	89.83	72.96	62.14	48.82	31.39	19.72	9.22
25	143.11	105.87	85.91	73.20	57.64	37.33	23.69	11.29
50	159.73	117.77	95.51	81.41	64.19	41.73	26.63	12.83
100	176.23	129.57	105.04	89.55	70.68	46.11	29.55	14.36

Fuente: *Elaboración propia*

En el Gráfico 26 de la estación “Gualaceo” se puede destacar un comportamiento similar en las curvas IDF para todos los periodos de retorno considerados, con intensidades de 30 mm/h a 177 mm/h para un periodo de tiempo corto de 0 a 50 minutos, mientras que, para periodos de tiempo largos no superan los 50 mm/h de intensidad, describiendo el comportamiento de las precipitaciones para la zona media baja de la subcuenca del río Santa Barbara.

5.4.6 Jima

Las ecuaciones que describen el comportamiento y generan las curvas IDF para la estación Jima, son:

Tabla 21. Ecuaciones para la estación Jima

TR	Ecuaciones
2	$I = 304.5026 * (2.61749839 + D)^{-0.7486982}$
5	$I = 366.7410 * (1.04385766 + D)^{-0.7289351}$
10	$I = 418.0853 * (0.58278727 + D)^{-0.7250195}$
25	$I = 486.9580 * (0.23310949 + D)^{-0.7231212}$
50	$I = 539.5646 * (0.06101636 + D)^{-0.7226522}$
100	$I = 592.5387 * (-0.06680134 + D)^{-0.7225531}$

Fuente: *Elaboración propia*

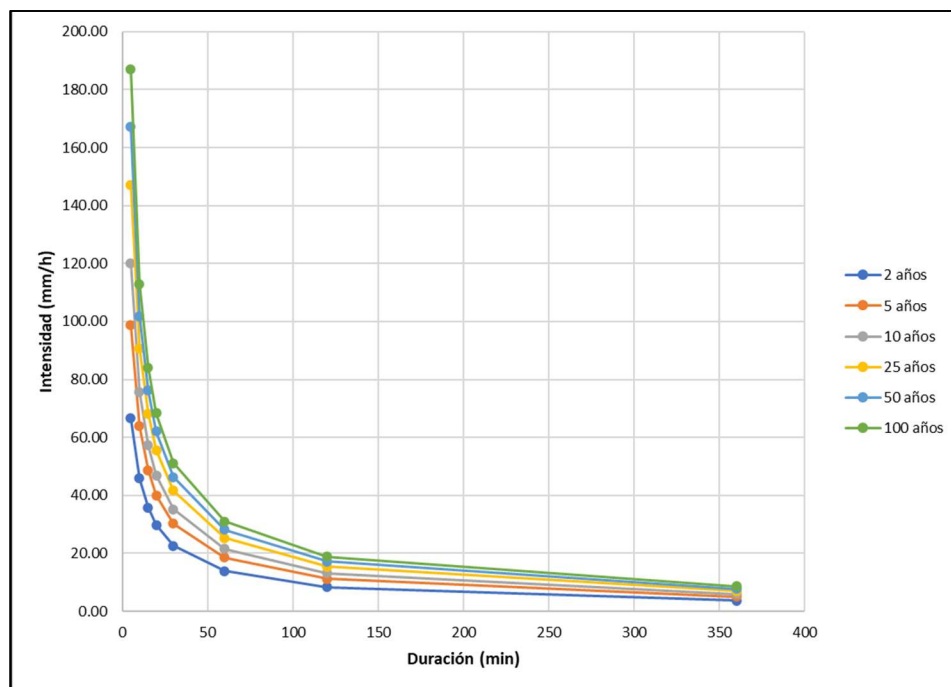
Donde:

I: Intensidad (mm/h)

TR: Periodo de retorno (años)

D: Duración (min)

Gráfico 27. Curvas IDF estación JIMA



Fuente: *Elaboración propia*

Tabla 22. Intensidades Máximas estación JIMA

TR	Duraciones (min)							
	5	10	15	20	30	60	120	360
2	66.59	45.63	35.54	29.48	22.41	13.75	8.32	3.69
5	98.82	63.68	48.50	39.80	29.98	18.31	11.12	5.01
10	120.17	75.58	57.09	46.66	35.02	21.33	12.95	5.85
25	147.14	90.60	67.95	55.34	41.39	25.15	15.25	6.90
50	167.16	101.74	76.01	61.79	46.13	27.97	16.96	7.67
100	187.02	112.79	84.01	68.19	50.83	30.78	18.65	8.43

Fuente: *Elaboración propia*

Con la información presentada en el Gráfico 27 de la estación “Jima” se pueden observar intensidades de 20 mm/h a 189 mm/h para un periodo de tiempo corto de 0 a 100 minutos, mientras que, para periodos de tiempo largos, un valor máximo de 37 mm/h de intensidad en un periodo de retorno de 100 años. Estas relaciones IDF permiten describir el comportamiento de las precipitaciones en la zona alta de la subcuenca del río Santa Barbara.

5.4.7 La Esmeralda

Las ecuaciones que describen el comportamiento y generan las curvas IDF para la estación

La Esmeralda, son:

Tabla 23. Ecuaciones para la estación La Esmeralda

TR	Ecuaciones
2	$I = 930.4380 * (8.418811 + D)^{-0.8768595}$
5	$I = 1137.546 * (6.600272 + D)^{-0.8737025}$
10	$I = 1776.281 * (5.154804 + D)^{-0.8824472}$
25	$I = 2252.601 * (4.780867 + D)^{-0.8880021}$
50	$I = 2611.130 * (4.610882 + D)^{-0.8912546}$
100	$I = 2969.505 * (4.490142 + D)^{-0.8939041}$

Fuente: *Elaboración propia*

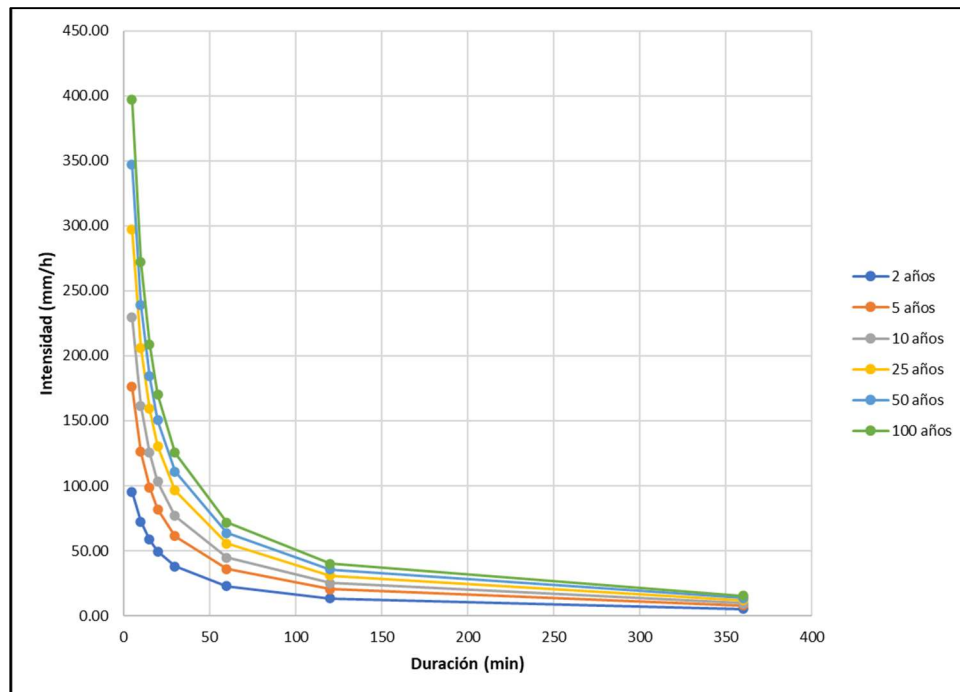
Donde:

I: Intensidad (mm/h)

TR: Periodo de retorno (años)

D: Duración (min)

Gráfico 28. Curvas IDF estación LA ESMERALDA



Fuente: *Elaboración propia*

Tabla 24. Intensidades Máximas estación LA ESMERALDA

TR	Duraciones (min)							
	5	10	15	20	30	60	120	360
2	95.46	72.32	58.58	49.44	37.95	22.88	13.17	5.23
5	133.64	97.71	77.63	64.72	48.97	29.03	16.56	6.54
10	229.71	161.34	125.45	103.17	76.78	44.55	25.04	9.73
25	297.32	206.06	159.08	130.23	96.38	55.48	31.00	11.96
50	347.49	239.22	184.03	150.31	110.92	63.59	35.41	13.60
100	397.28	272.14	208.79	170.24	125.35	71.64	39.80	15.23

Fuente: *Elaboración propia*

El Gráfico 28 de la estación “La Esmeralda” presenta el mayor valor de intensidad con respecto al resto de estaciones, con intensidades de 45 mm/h a 400mm/h de acuerdo al periodo de retorno analizado, para periodos de tiempo cortos. Para periodos de tiempo largos presenta un valor de intensidad máximo de 75 mm/h. Estas relaciones IDF, representan el comportamiento de las precipitaciones en la parte alta de la subcuenca del río Burgay, corroborando la información presentada en el análisis de isoyetas generadas a partir de la precipitación media anual del Gráfico 13.

5.4.8 Machángara DJ Chulco

Las ecuaciones que describen el comportamiento y generan las curvas IDF para la estación Machángara, son:

Tabla 25. Ecuaciones para la estación Machángara DJ Chulco

TR	Ecuaciones
2	$I = 468.4487 * (7.918532 + D)^{-0.7373609}$
5	$I = 716.6519 * (9.975740 + D)^{-0.7426670}$
10	$I = 903.0399 * (11.095195 + D)^{-0.7494022}$
25	$I = 1157.613 * (12.281966 + D)^{-0.758123}$
50	$I = 1357.5787 * (13.028941 + D)^{-0.7641918}$
100	$I = 1564.1044 * (13.679108 + D)^{-0.7697492}$

Fuente: *Elaboración propia*

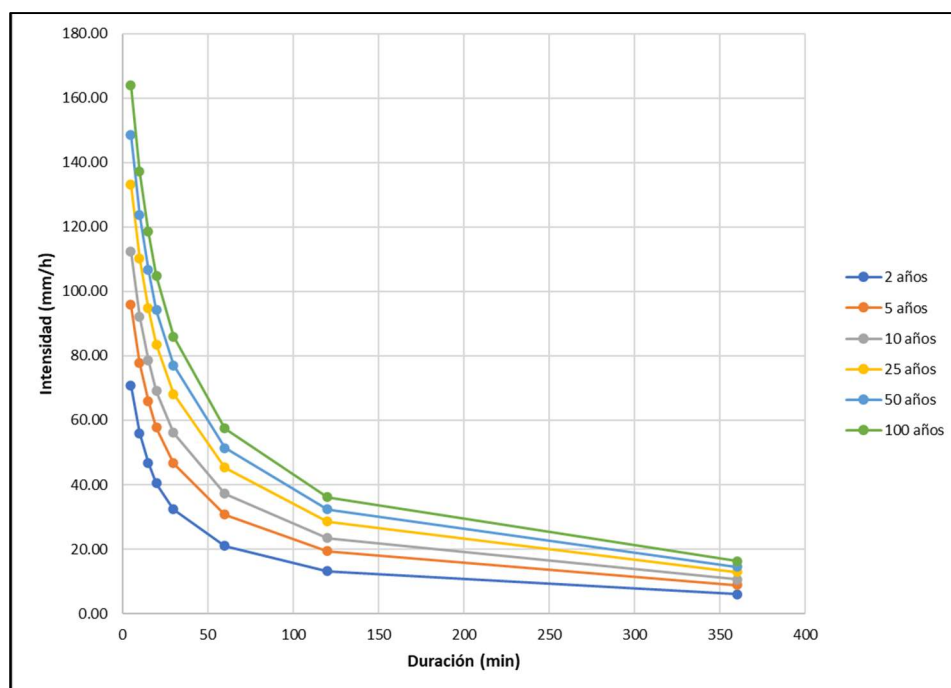
Donde:

I: Intensidad (mm/h)

TR: Periodo de retorno (años)

D: Duración (min)

Gráfico 29. Curvas IDF estación MACHANGARA DJ CHULCO



Fuente: Elaboración propia

Tabla 26. Intensidades Máximas estación MACHANGARA DJ CHULCO

TR	Duraciones (min)							
	5	10	15	20	30	60	120	360
2	71.01	55.79	46.53	40.23	32.10	20.88	13.09	6.01
5	96.03	77.53	65.68	57.35	46.31	30.56	19.29	8.87
10	112.57	91.91	78.37	68.72	55.76	36.98	23.38	10.72
25	133.45	110.06	94.40	83.10	67.72	45.10	28.52	13.02
50	148.93	123.53	106.30	93.77	76.61	51.14	32.34	14.71
100	164.30	136.88	118.12	104.37	85.44	57.13	36.12	16.37

Fuente: Elaboración propia

El gráfico Gráfico 29 describe el comportamiento de las relaciones IDF presentando valores de intensidad de entre 20 mm/h a 165 mm/h en un periodo de tiempo corto de 0 a 50 minutos, de acuerdo al periodo de retorno analizado, mientras que, para periodos de tiempo largo se tiene un valor máximo de 60 mm/h para un periodo de retorno de 100 años. Este análisis permite describir el comportamiento de las precipitaciones en la zona media baja de la subcuenca del río Machángara.

5.4.9 Matadero en Sayausí

Las ecuaciones que describen el comportamiento y generan las curvas IDF para la estación Matadero en Sayausí, son:

Tabla 27. Ecuaciones para la estación Matadero en Sayausí

TR	Ecuaciones
2	$I = 597.2466 * (6.776693 + D)^{-0.812919}$
5	$I = 1183.0861 * (8.99689 + D)^{-0.8850261}$
10	$I = 1625.7233 * (0.933114 + D)^{-0.914829}$
25	$I = 2226.01 * (10.78646 + D)^{-0.9417399}$
50	$I = 2692.8099 * (11.265398 + D)^{-0.9567486}$
100	$I = 3169.7025 * (11.651582 + D)^{-0.9688048}$

Fuente: *Elaboración propia*

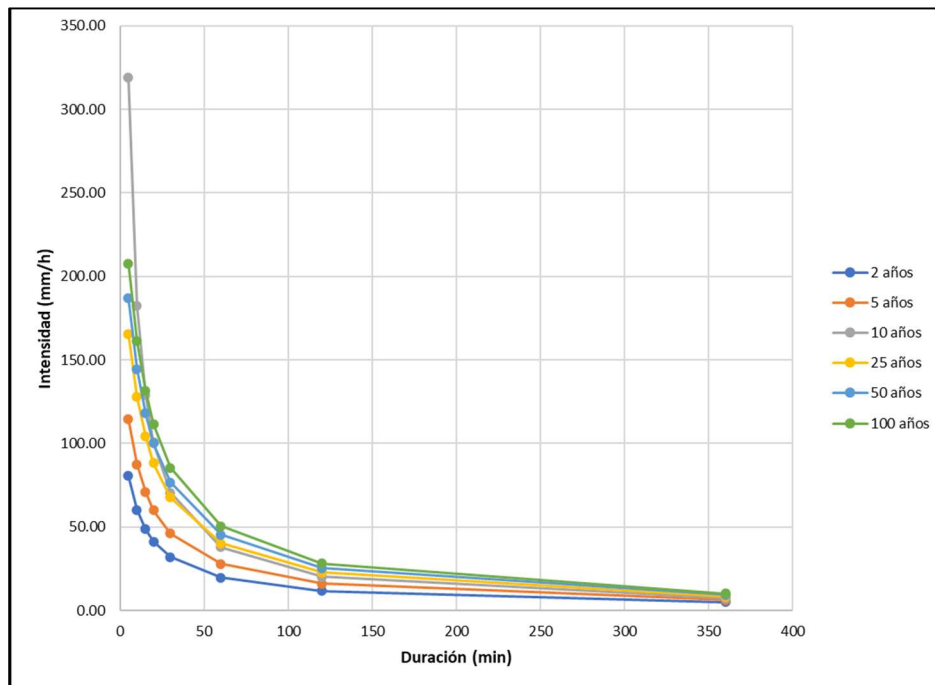
Donde:

I: Intensidad (mm/h)

TR: Periodo de retorno (años)

D: Duración (min)

Gráfico 30. Curvas IDF estación MATADERO EN SAYAUSI



Fuente: *Elaboración propia*

Tabla 28. Intensidades Máximas estación MATADERO EN SAYAUSI

TR	Duraciones (min)							
	5	10	15	20	30	60	120	360
2	80.44	60.33	48.81	41.26	31.88	19.63	11.66	4.91
5	114.48	87.37	71.05	60.09	46.23	27.90	16.04	6.33
10	318.88	182.29	129.17	100.63	70.40	37.86	20.22	7.44
25	165.60	127.80	104.32	88.28	67.74	40.30	22.61	8.47
50	186.78	144.53	118.09	99.96	76.65	45.44	25.33	9.37
100	207.81	161.13	131.76	111.54	85.49	50.54	28.04	10.26

Fuente: *Elaboración propia*

La información presentada en el Gráfico 30 de la estación “Matadero en Sayausi” describe el comportamiento de las precipitaciones en la subcuenca del río Tomebamba, con intensidades de 20 mm/h a 208 mm/h, para un periodo de tiempo corto de 0 a 50 minutos, de acuerdo al periodo de retorno analizado, mientras que un valor de intensidad máximo de 50 mm/h para un periodo de tiempo más largo.

5.4.10 Tarqui DJ Cumbe

Las ecuaciones que describen el comportamiento y generan las curvas IDF para la estación Tarqui DJ Cumbe, son:

Tabla 29. Ecuaciones para la estación Tarqui DJ Cumbe

TR	Ecuaciones
2	$I = 959.5574 * (10.76936 + D)^{-0.9326928}$
5	$I = 1999.6182 * (15.23334 + D)^{-1.0322075}$
10	$I = 2983.1285 * (17.72341 + D)^{-1.0850072}$
25	$I = 4596.4078 * (20.43437 + D)^{-1.1408257}$
50	$I = 6074.1018 * (22.18402 + D)^{-1.1760832}$
100	$I = 7783.0554 * (23.73574 + D)^{-1.2069128}$

Fuente: *Elaboración propia*

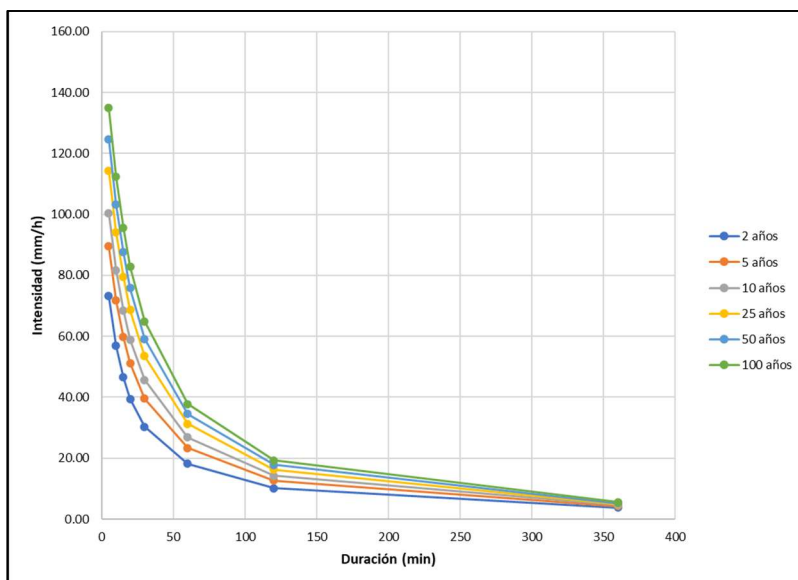
Donde:

I: Intensidad (mm/h)

TR: Periodo de retorno (años)

D: Duración (min)

Gráfico 31. Curvas IDF estación TARQUI DJ CUMBE



Fuente: *Elaboración propia*

Tabla 30. Intensidades Máximas estación TARQUI DJ CUMBE

TR	Duraciones (min)							
	5	10	15	20	30	60	120	360
2	73.26	56.67	46.34	39.27	30.21	18.06	10.19	3.85
5	89.70	71.42	59.26	50.60	39.10	23.13	12.62	4.40
10	100.67	81.13	67.77	58.08	45.00	26.51	14.25	4.77
25	114.57	93.36	78.49	67.51	52.47	30.81	16.31	5.23
50	124.91	102.42	86.42	74.50	58.01	34.00	17.85	5.58
100	135.20	111.40	94.28	81.43	63.51	37.18	19.37	5.92

Fuente: *Elaboración propia*

Con la información presentada en el Gráfico 31 de la estación “Tarqui DJ Cumbe” se puede observar relaciones IDF con el mismo patrón de conducta de acuerdo a los diferentes periodos de retorno con intensidades desde 19 mm/h a 136 mm/h para un periodo de tiempo corto de 0 a 50 minutos, mientras que, para periodos de tiempo largos se tiene un valor de intensidad máxima de 40 mm/h en un periodo retorno de 100 años. Estas curvas IDF ejemplifican el comportamiento de las precipitaciones en la zona media baja de la subcuenca del río Tarqui.

5.4.11 Ucubamba en Etapa

La ecuación que describe el comportamiento y genera las curvas IDF para la estación Ucubamba, es:

Tabla 31. Ecuaciones para la estación Ucubamba en Etapa

TR	Ecuaciones
2	$I = 654.8298 * (7.441876 + D)^{-0.7693761}$
5	$I = 612.7581 * (6.201462 + D)^{-0.7208669}$
10	$I = 593.4556 * (4.265943 + D)^{-0.6459935}$
25	$I = 609.0225 * (3.431128 + D)^{-0.6138753}$
50	$I = 627.4007 * (2.966360 + D)^{-0.5959935}$
100	$I = 649.1601 * (2.593805 + D)^{-0.5816406}$

Fuente: *Elaboración propia*

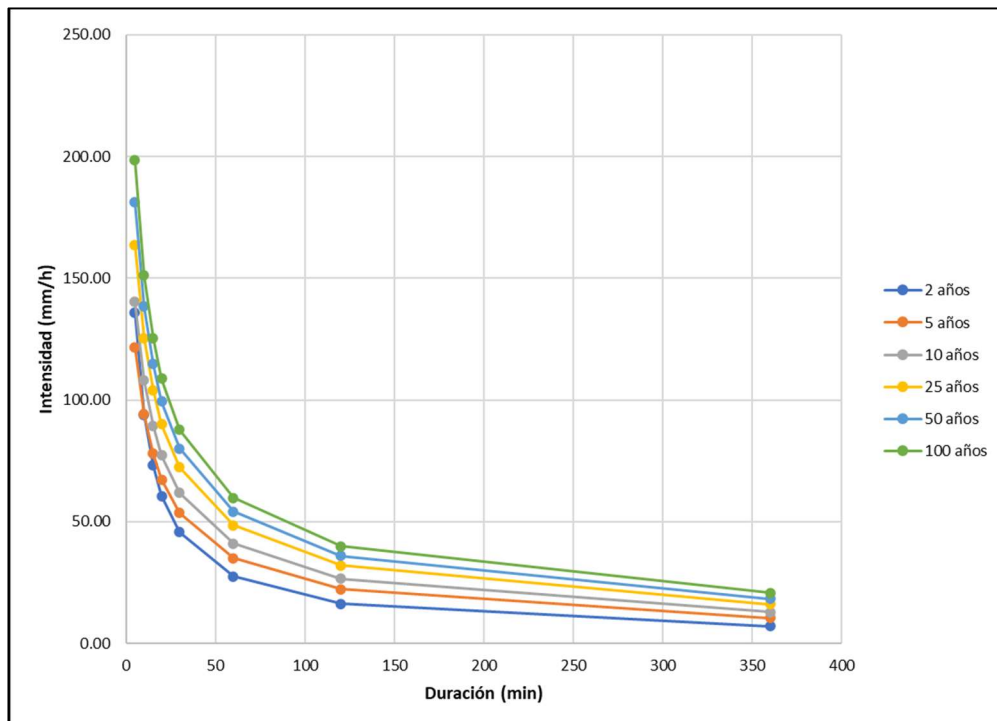
Donde:

I: Intensidad (mm/h)

TR: Periodo de retorno (años)

D: Duración (min)

Gráfico 32. Curvas IDF estación UCUBAMBA



Fuente: *Elaboración propia*

Tabla 32. Intensidades Máximas estación UCUBAMBA

TR	Duraciones (min)							
	5	10	15	20	30	60	120	360
2	94.13	72.59	59.79	51.22	40.33	25.64	15.72	6.96
5	107.37	82.29	67.79	58.19	46.10	29.83	18.74	8.69
10	140.86	106.59	87.79	75.63	60.52	40.31	26.33	13.14
25	164.53	123.63	101.80	87.85	70.63	47.67	31.68	16.33
50	182.14	136.24	112.17	96.90	78.12	53.12	35.65	18.70
100	199.64	148.75	122.46	105.88	85.56	58.54	39.59	21.07

Fuente: *Elaboración propia*

La información expuesta en el Gráfico 32 de la estación “Ucubamba” permite observar la variabilidad de intensidades en un periodo de retorno corto de 0 a 50 minutos, mientras que, para periodos de tiempo superiores a 50 minutos, el valor de intensidad no supera el 58 mm/h.

5.4.12 Yanuncay en Pucán

La ecuación que describe el comportamiento y genera las curvas IDF para la estación Yanuncay en Pucán, es:

Tabla 33. Ecuaciones para la estación Yanuncay en Pucán

TR	Ecuaciones
2	$I = 319.5765 * (3.860359 + D)^{-0.7030717}$
5	$I = 450.4149 * (4.702805 + D)^{-0.7023393}$
10	$I = 539.7545 * (5.112176 + D)^{-0.7030331}$
25	$I = 654.5284 * (5.517628 + D)^{-0.7041974}$
50	$I = 740.6318 * (5.759816 + D)^{-0.7050777}$
100	$I = 826.6881 * (5.963243 + D)^{-0.7059081}$

Fuente: *Elaboración propia*

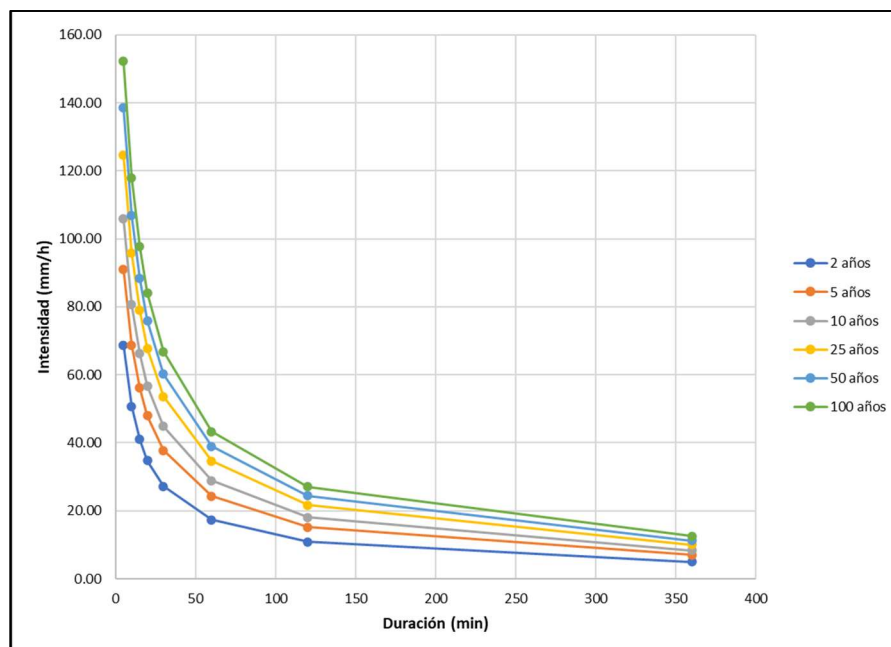
Donde:

I: Intensidad (mm/h)

TR: Periodo de retorno (años)

D: Duración (min)

Gráfico 33. Curvas IDF estación YANUNCAY EN PUCAN



Fuente: *Elaboración propia*

Tabla 34. Intensidades Máximas estación YANUNCAY EN PUCAN

TR	Duraciones (min)							
	5	10	15	20	30	60	120	360
2	68.94	50.33	40.53	34.35	26.86	17.19	10.79	5.06
5	91.30	68.19	55.52	47.36	37.30	24.08	15.19	7.15
10	106.11	80.00	65.44	55.98	44.23	28.65	18.10	8.53
25	124.82	94.92	77.97	66.87	52.98	34.42	21.78	10.26
50	138.71	105.98	87.27	74.95	59.48	38.71	24.51	11.54
100	152.49	116.96	96.50	82.97	65.92	42.96	27.21	12.82

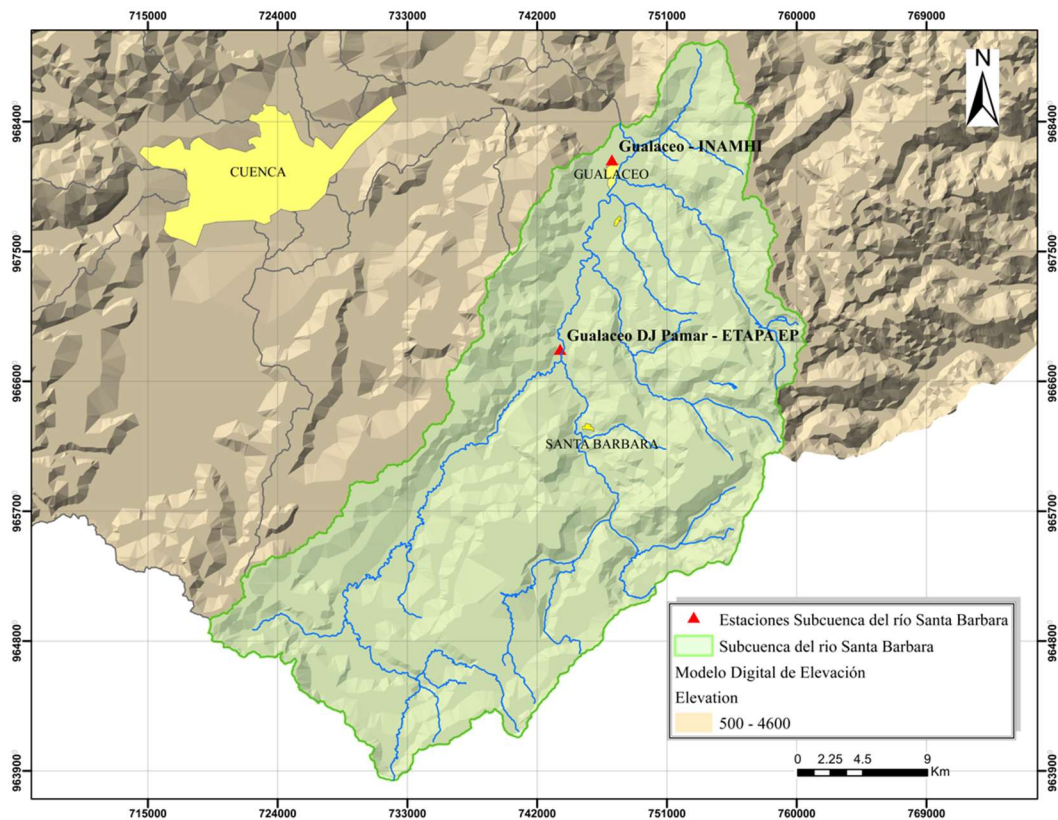
Fuente: *Elaboración propia*

La información presentada en el Gráfico 33 de la estación “Yanuncay en Pucán” describe el comportamiento de las precipitaciones en la zona baja de la subcuenca del río Yanuncay, teniendo intensidades de 19 mm/h a 152 mm/h en un periodo de tiempo corto de 0 a 50 minutos, de acuerdo al periodo de retorno analizado, mientras que, para periodos de tiempo superiores se tiene un valor de intensidad de 42 mm/h en un periodo de retorno de 100 años.

5.5 Contraste con la información presentada por el INAMHI

Para este apartado se consideraron las estaciones GUALACEO DJ PAMAR y EL LABRADO escogidas en la presente investigación y sus similares GUALACEO y EL LABRADO del estudio de lluvias intensas versión (2) presentado por el INAMHI en el año 2019, cabe recalcar que la estación Gualaceo DJ Pamar y Gualaceo distan 18.6 km una de otra, siendo parte de la misma subcuenca del río Santa Bárbara compartiendo características geomorfológicas como se puede apreciar en el Gráfico 34.

Gráfico 34. Estaciones Gualaceo DJ Pamar y Gualaceo

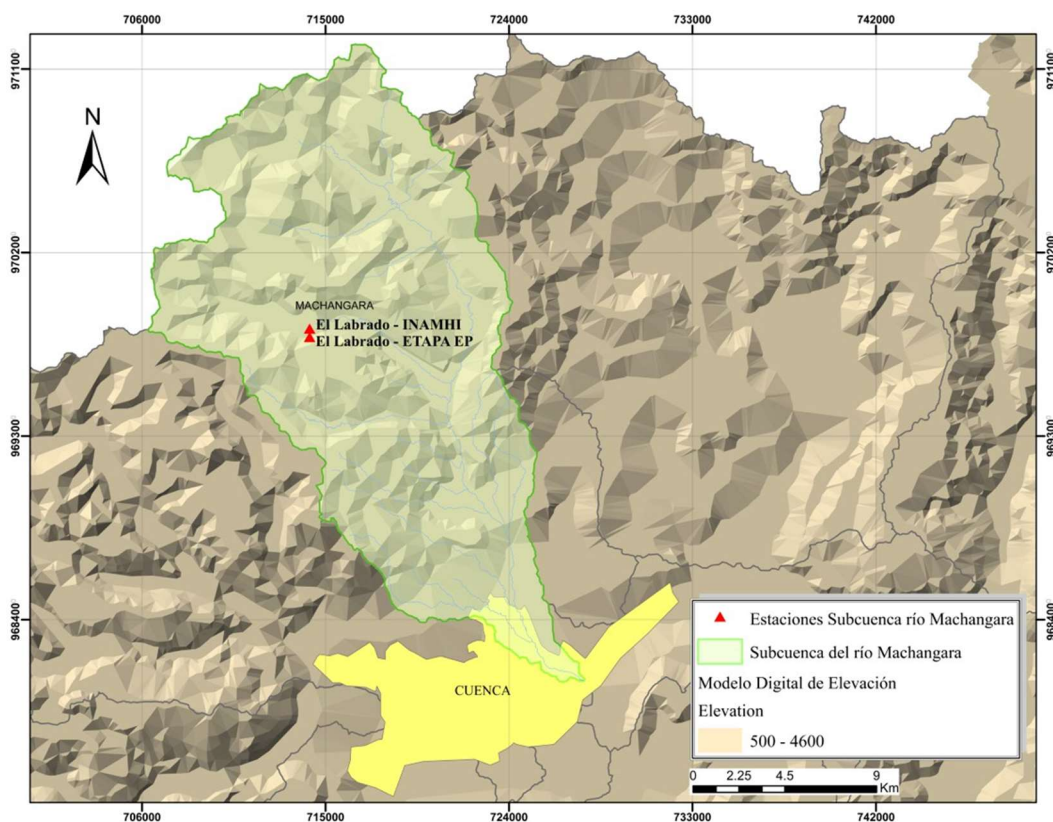


Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, la estación EL LABRADO considerada en la presente investigación y la presentada por el INAMHI se encuentran en el mismo punto de monitoreo y por tal motivo se

observan resultados semejantes. En el Gráfico 35 se puede apreciar la ubicación de las estaciones en la subcuenca del río Machángara.

Gráfico 35. Estación EL LABRADO



Fuente: Elaboración propia

Para comparar los resultados presentados en esta investigación y los presentados en el estudio de lluvias intensas del INAMHI en su versión (2) del año 2019 se consideraron las ecuaciones de las curvas IDF y se hizo uso de índices estadísticos que permiten medir la relación entre dos muestras de datos, como el coeficiente de correlación, y post procesadores estadísticos como el coeficiente de eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE) y el coeficiente de eficiencia de Kling-Gupta (KGE).

El estudio de lluvias intensas presentado por INAMHI en el año 2019 concluyó que para el área de interés de esta investigación (Cuenca alta del río Paute) existen dos zonas analizadas. Por otra parte, en la presente investigación el número de estaciones y zonas con información

hidrometeorológica procesada aumenta significativamente para describir mediante las ecuaciones y las gráficas el comportamiento de cada una de las subcuencas de la cuenca alta del río Paute.

El estudio del INAMHI se elaboró a partir de la recolección y análisis de información de 291 estaciones hidrometeorológicas, determinando las ecuaciones de intensidad para cada una de las estaciones mediante el uso de interpolación probabilística con el método de Cressman, dividiendo el territorio nacional en 72 zonas.

Para la comparación, a partir de la información de la Tabla 35, el INAMHI toma la ecuación de las estaciones el Labrado y Gualaceo DJ Pamar, las cuales, pese a un largo periodo de registro, abarcan un área demasiado grande para estimar el comportamiento de las precipitaciones. En cambio, la presente investigación analiza la información de doce estaciones hidrometeorológicas operadas por ETAPA EP y ubicadas en las diferentes subcuencas de la cuenca alta del río Paute.

Para establecer las diferencias se seleccionaron las estaciones coincidentes con el trabajo presentado por el INAMHI. A continuación, se puede observar en las Tabla 35 y 36, el cotejo de las ecuaciones presentadas en el estudio de lluvias intensas y las ecuaciones obtenidas en esta investigación.

Tabla 35. Resumen de ecuaciones estación GUALACEO

Estación	Duración (min)	Ecuaciones INAMHI	Ecuaciones obtenidas por Autores	
Gualaceo	5<30	$i = 163.3335 * T^{0.1753} * t^{-0.4333}$	TR 2 años	$I = 543.7186 * (6.997044 + D)^{-0.7905363}$
	30<120	$i = 374.6061 * T^{0.1845} * t^{-0.6853}$	TR 5 años	$I = 566.8782 * (5.299116 + D)^{-0.7312792}$
	120<1440	$i = 1406.3476 * T^{0.1642} * t^{-0.9557}$	TR 10 años	$I = 601.6811 * (4.655211 + D)^{-0.7083801}$
			TR 25 años	$I = 654.5936 * (4.101184 + D)^{-0.6884473}$
			TR 50 años	$I = 697.4284 * (3.803119 + D)^{-0.6776256}$
			TR 100 años	$I = 741.8018 * (3.569241 + D)^{-0.6690819}$

Fuente: Elaboración propia

Tabla 36. Resumen de ecuaciones estación EL LABRADO

Estación	Duración (min)	Ecuaciones INAMHI	Ecuaciones obtenidas por Autores	
El Labrado	5<15	$i = 102.6808 * T^{0.2873} * t^{-0.5073}$	TR 2 años	$I = 286.0999 * (4.198491 + D)^{-0.7209928}$
	15<60	$i = 146.5836 * T^{0.2062} * t^{-0.6077}$	TR 5 años	$I = 354.3696 * (3.668873 + D)^{-0.7154928}$
	60<1440	$i = 363.4344 * T^{0.1650} * t^{-0.8037}$	TR 10 años	$I = 390.2127 * (3.483456 + D)^{-0.7134522}$
			TR 25 años	$I = 428.5121 * (3.327152 + D)^{-0.7116841}$
			TR 50 años	$I = 453.2851 * (3.242977 + D)^{-0.710713}$
			TR 100 años	$I = 475.5847 * (3.176138 + D)^{-0.7099323}$

Fuente: Elaboración propia

La principal diferencia que se puede verificar es que, el INAMHI presenta tres ecuaciones para cada estación y recomienda rangos de duración de tiempo para cada una de las ecuaciones, por otra parte, esta investigación propone ecuaciones para cada periodo de retorno considerado en cada una de las estaciones analizadas; más adelante se puede observar las diferencias en los resultados y las discrepancias por esta consideración.

5.6 Comparación de datos simulados y observados

Se utilizaron los coeficientes de correlación, coeficiente de eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE) y coeficiente eficiencia de Kling-Gupta (KSE) como parámetros estadísticos, para medir la relación existente entre los resultados presentados por el INAMHI en su estudio de lluvias intensas en su versión (2) del año 2019 los resultados obtenidos en la presente investigación.

El coeficiente de correlación oscila entre -1 y 1, cuanto más cercano a 1 es el valor, mejor es la correlación entre las muestras observadas, no obstante, un valor igual o superior a 0.7 es suficiente para afirmar que las muestras presentan una correlación.

La eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE) establece la magnitud relativa de la varianza residual comparada con la varianza de los datos observados, cuanto más cercano a 1 es el valor de este coeficiente más exacto es el modelo, un valor de 0 indica que, las predicciones del modelo son tan precisas como la media de los datos observados, mientras que valores menores a 1, o números negativos indican que, la media observada es mejor predictor que el modelo (Cabrera, 2012).

La eficiencia de Kling-Gupta (KGE) proviene de la descomposición del coeficiente NSE y resuelve el inconveniente de la subestimación de valores máximos y de poca variabilidad al ponderar de forma equitativa los componentes de correlación, desviación y variabilidad, oscila entre -1 y 1, siendo 1 el valor ideal (Zúñiga et al., 2012). Estos índices estadísticos fueron realizados para cada periodo de retorno considerado en esta investigación, en la Tabla 37 se exponen los resultados.

Tabla 37. Índices estadísticos

Índice estadístico	Estación	2	5	10	25	50	100
Coeficiente de correlación	Gualaceo	0.9984	0.9979	0.9975	0.9969	0.9965	0.9960
	El Labrado	0.9983	0.9992	0.9996	0.9999	0.9999	0.9997
Eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE)	Gualaceo	0.875	0.980	0.991	0.991	0.987	0.977
	El Labrado	0.975	0.936	0.975	0.998	0.964	0.883
Eficiencia de Kling-Gupta (KGE)	Gualaceo	0.759	0.920	0.960	0.967	0.951	0.918
	El Labrado	0.880	0.806	0.881	0.965	0.840	0.714

Fuente: Elaboración propia

Gracias a la aplicación de los diferentes índices estadísticos y la implementación de lenguaje de programación Rstudio, se observó que los resultados están en el mismo orden de aproximación; los valores del coeficiente de correlación indican una fuerte relación entre los resultados obtenidos por el INAMHI y los presentados en esta investigación, que poco varían entre periodos de retorno. Por otra parte, el análisis de la eficiencia KGE es el que presenta menores resultados respecto a los otros índices.

Una apreciación más real es la que se demuestra con la aplicación de la eficiencia NSE, cuyos resultados varían entre 0.875 y 0.991 para la estación GUALACEO y entre 0.883 y 0.998 para la estación EL LABRADO lo que indica que los resultados se encuentran en un rango de aproximación

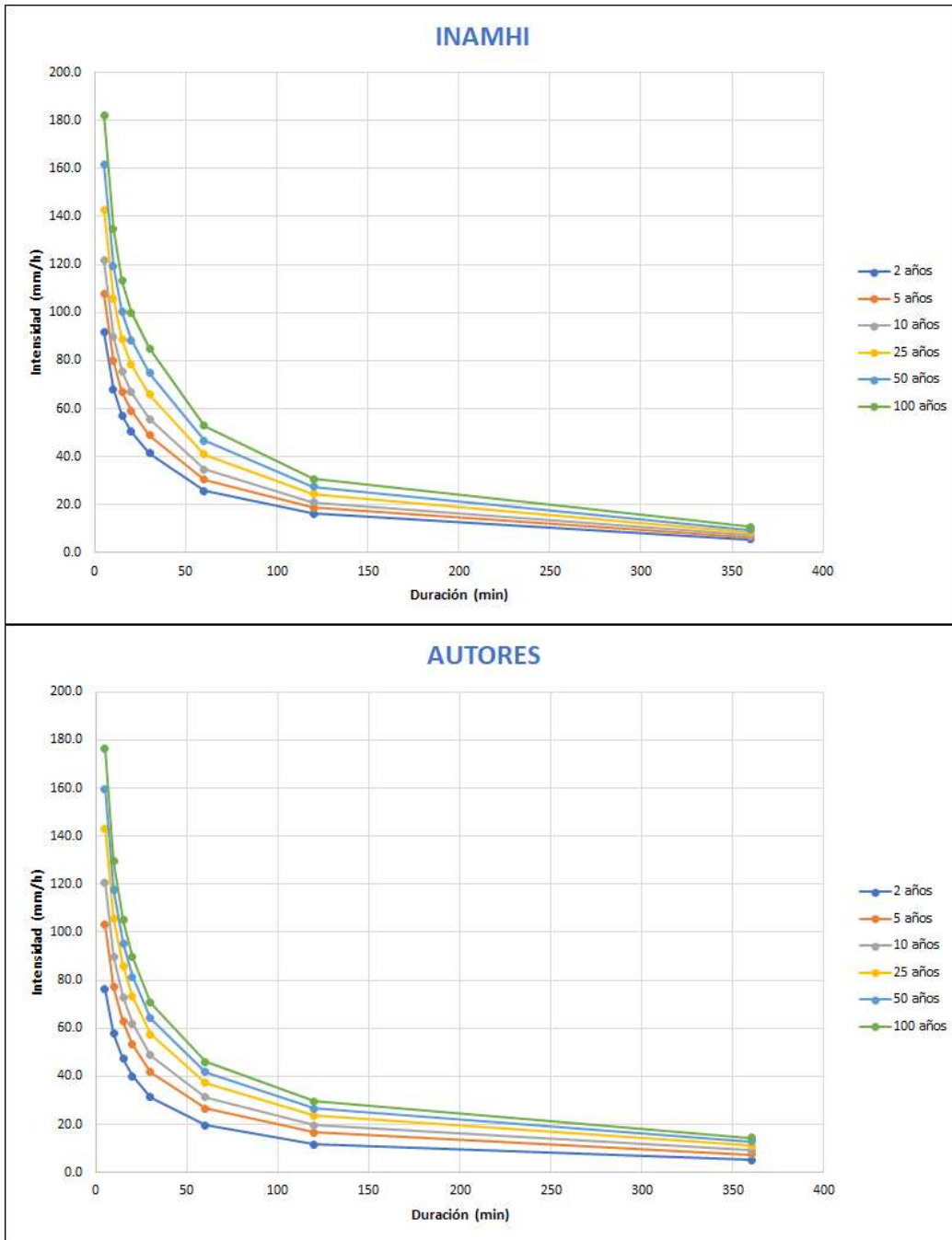
muy bueno, pero tienden a alejarse de una relación óptima deseada en sus valores extremos (5 y 360 minutos).

Analizando la información presentada en el Gráfico 36 y Gráfico 37, se puede observar las diferencias existentes de forma gráfica, en cuanto a las curvas IDF presentadas por el INAMHI y las curvas IDF resultantes de la presente investigación.

Cabe mencionar que los registros de series de datos de precipitaciones utilizados en la construcción de las curvas IDF por parte del INAMHI comienzan desde el año 1979 hasta el año 2010, mientras que la información organizada, evaluada y procesada en esta investigación parte desde el año 1997 hasta el año 2019. Además, para las estaciones ubicadas en la subcuenca del río Santa Barbara es preciso mencionar que, la estación “Gualaceo DJ Pamar” analizada en la presente investigación está ubicada en la parte media alta de la subcuenca del río Santa Barbara a una altura de 2311 msnm y la estación “Gualaceo” presentada por el INAMHI se encuentra ubicada en la cabecera cantonal a una altura de 2300 msnm a una distancia de 18.6 km entre sí.

De la misma manera la estación “El Labrado” considerada en esta investigación dista 500 m de su similar presentada por el INAMHI.

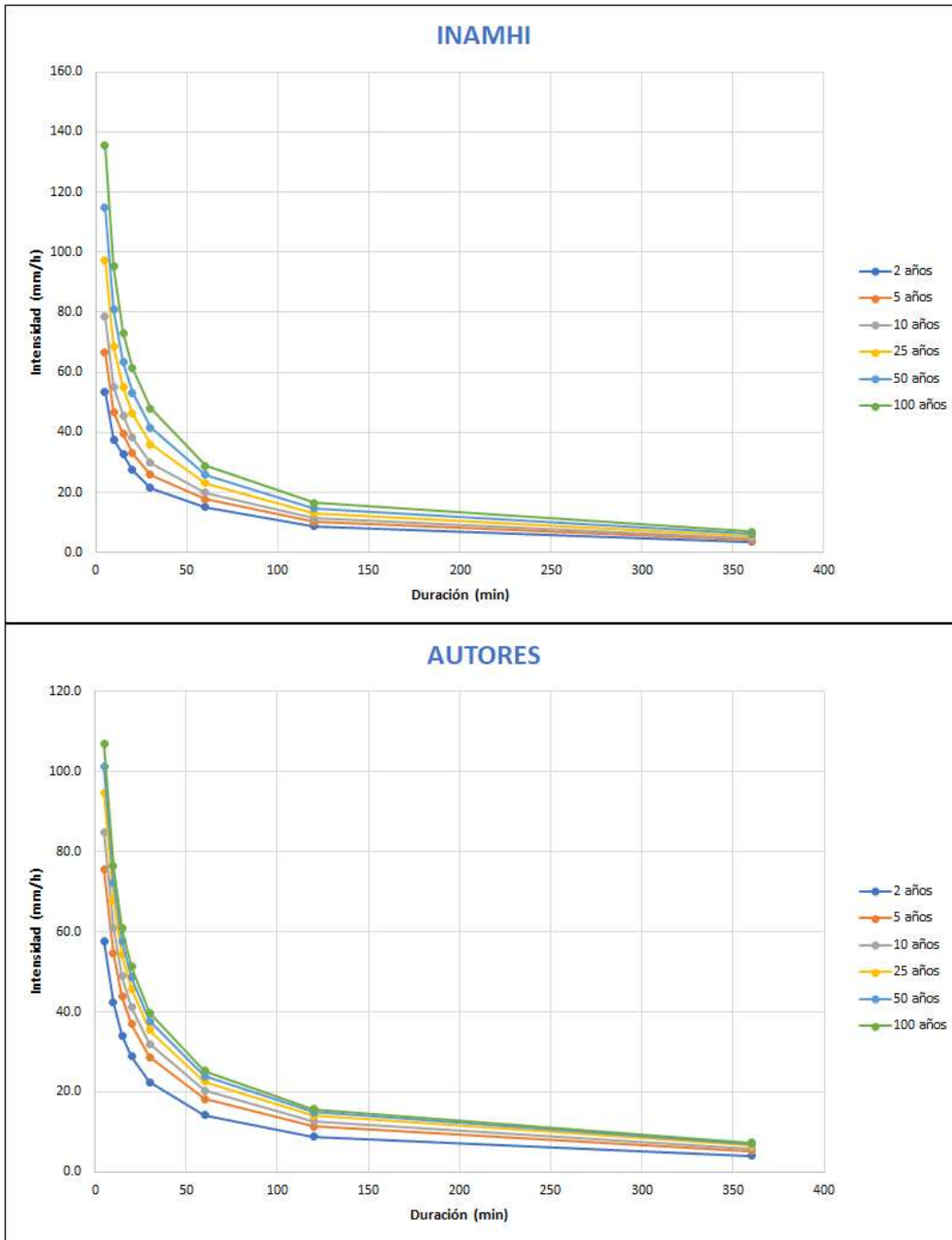
Gráfico 36.Contraste de las Curvas IDF para la estación GUALACEO DJ PAMAR



Fuente: Elaboración propia

El Gráfico 36 permite observar que las gráficas se asemejan bastante y que más allá de tener valores diferentes en sus extremos, en términos generales son muy parecidas.

Gráfico 37. Contraste de las Curvas IDF para la estación EL LABRADO



Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la información analizada en Gráfico 37, se puede observar que en sus valores extremos la diferencia es más marcada que la estación anterior, si bien no son iguales presentan un grado de semejanza.

5.7 Validación de la metodología

Para verificar el correcto funcionamiento de la metodología utilizada en la presente investigación empleando herramientas E-Learning se utilizó el método de Aparicio (1997), para verificar si los valores de intensidades encontrados en la investigación son coherentes con los métodos clásicos. La ecuación planteada por Aparicio se utiliza comúnmente en la generación de curvas IDF, la cual plantea una sola ecuación en donde la duración y el periodo de retorno son variables.

$$I = \frac{k \cdot T^m}{D^n} \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde k, m y n son constantes, T representa el periodo de retorno, D es la duración de tiempo e I es la intensidad de la precipitación.

Desarrollando la ecuación se aplican logaritmos quedando,

$$\log I = \log k + m \cdot \log T - n \cdot \log D \quad \text{Ecuación 6}$$

En la resolución de la ecuación restante se aplica regresión múltiple por mínimos cuadrados para encontrar los parámetros necesarios para determinar las ecuaciones de las curvas IDF y posteriormente poder graficarlas.

Partiendo de información procesada en Rstudio (tabla de intensidades máximas para las diferentes duraciones de tiempo) se realizó este proceso para las estaciones de EL LABRADO y GUALACEO, los resultados se exponen a continuación:

5.7.1 Estación EL LABRADO

La ecuación que describe el comportamiento y genera las curvas IDF para la estación El Labrado, es:

$$i = \frac{189.2915 \cdot T^{0.192749}}{D^{0.685546}}$$

Donde:

i: Intensidad (mm/h)

T: Periodo de retorno (años)

D: Duración (min)

Tabla 38. Intensidades Máximas estación EL LABRADO

TR	Duraciones (min)							
	5	10	15	20	30	60	120	360
2	71.77578	44.62805	33.79785	27.74839	21.0145	13.06619	8.12417	3.825518
5	85.64071	53.24885	40.32659	33.10855	25.07387	15.59019	9.693517	4.564493
10	97.88211	60.86019	46.09083	37.84106	28.65791	17.81864	11.0791	5.216938
25	116.79	72.61655	54.9942	45.15081	34.19376	21.26066	13.21925	6.224694
50	133.4839	82.9963	62.85502	51.60463	39.08138	24.29964	15.1088	7.114446
100	152.5639	94.85971	71.83946	58.98095	44.66764	27.77301	17.26843	8.131378

Fuente: Elaboración propia

5.7.2 Estación GUALACEO

La ecuación que describe el comportamiento y genera las curvas IDF para la estación Gualaceo, es:

$$i = \frac{236.9949 \cdot T^{0.205109}}{D^{0.65026}}$$

Donde:

i: Intensidad (mm/h)

T: Periodo de retorno (años)

D: Duración (min)

Tabla 39. Intensidades Máximas estación GUALACEO

TR	Duraciones (min)							
	5	10	15	20	30	60	120	360
2	95.93358	61.12556	46.95888	38.94709	29.92057	19.06436	12.14715	5.945952
5	115.7689	73.76394	56.66814	46.99983	36.10698	23.00612	14.6587	7.175342
10	133.4553	85.03313	65.32554	54.18017	41.62318	26.52085	16.89817	8.271546
25	161.0487	102.6146	78.83231	65.38251	50.22922	32.00432	20.39205	9.981778
50	185.6527	118.2915	90.87581	75.37123	57.90292	36.89374	23.50742	11.50673
100	214.0155	136.3633	104.7592	86.88598	66.74897	42.53014	27.09873	13.26466

Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenida la información referente a las estaciones en análisis, se realizó un contraste de resultados entre la metodología presentada en esta investigación, el IMANHI y el método tradicional de Aparicio Mijares (Aparicio, 1997) referenciado comúnmente para la construcción de curvas IDF; las diferencias se observan tanto en las ecuaciones, valores de intensidad máxima y gráficas de las curvas IDF.

En cuanto a las ecuaciones, existen diferencias en los tres métodos ya que, el INAMHI presenta 3 ecuaciones que son ocupadas según la duración de lluvia analizada; la presente investigación propone 6 ecuaciones que corresponden a cada periodo de retorno analizado y finalmente, Aparicio plantea una sola ecuación en la cual tanto la duración de lluvia como el periodo de retorno son variables.

Por otra parte, las gráficas de las curvas IDF obtenidas por los tres métodos resultan similares en cuanto a la forma en que se representan y las intensidades máximas resultantes por cada método de igual manera se encuentran en el mismo orden de aproximación. Así, gracias a los tres métodos analizados se pudo evidenciar la semejanza en los resultados, lo que nos indica veracidad y eficiencia del uso de herramientas E-Learning en el manejo de datos estadísticos. Si bien los métodos analizados se encuentran en un mismo orden de aproximación de acuerdo a la información procesada, se evidencio que la herramienta IDFtool se destaca por la rapidez y eficiencia en el manejo de la información teniendo un nivel de autonomía en el proceso recortando tiempo en la construcción de las relaciones IDF.

CAPITULO VI

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- Se generaron curvas IDF en base a la información pluviométrica de doce estaciones hidrometeorológicas operadas por ETAPA EP dentro de la cuenca alta y media del río Paute, esto se hizo implementando el software Rstudio para procesar las series de tiempo; mejorando la eficiencia de cálculo para la construcción de las curvas IDF, obteniendo información con menor incertidumbre.
- Con la implementación de lenguaje de programación en Rstudio, el procesamiento de las series de datos se realizó de manera eficiente, destacando que inclusive existen estaciones donde el volumen de datos es demasiado grande y herramientas computacionales tradicionales como Excel no permiten la lectura de información.
- La distribución de Gumbel fue la que mejor se ajustó a los datos usados en esta investigación, confirmando la sugerencia del INAMHI para su aplicación en la zona de estudio de interés y permitiendo encontrar las ecuaciones que generan las gráficas de las curvas IDF.
- Los resultados presentados en esta investigación varían frente a los presentados por el INAMHI, las diferencias pueden ser atribuidas principalmente a dos factores: el primero es que los datos procesados por el INAMHI corresponden a registros de 26 años que van desde 1979 hasta 2010 mientras que los datos usados en esta investigación corresponden a registros de 20 años aproximadamente desde 1997 hasta 2019 y, el segundo factor, es el cambio climático ya que en los últimos años este fenómeno ha tenido mayor incidencia.
- Con el análisis visual y mediante la aplicación del test de bondad Chi Cuadrado se pudo verificar que para la información de las estaciones hidrometeorológicas seleccionadas de la cuenca alta del río Paute, la distribución de probabilidad “Gumbel” es la que mejor se ajusta a la información disponible.

- Gracias a los resultados obtenidos se pudo evidenciar que la intensidad de lluvia es un factor importante en el análisis de las precipitaciones e intensidades puesto que a un menor tiempo de duración la intensidad es mayor.
- Los mapas de isoyetas nos permiten nombrar a la curva que representa los puntos sobre la superficie que comparten el mismo valor de la precipitación media anual. De acuerdo al mapa de isoyetas generado a partir de la precipitación media anual, se determinó que la subcuenca de los ríos Machángara y Burgay, son las subcuencas con los mayores valores de precipitación media anual.

6.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda considerar más puntos de monitoreo especialmente en la cuenca media baja del río Paute, así como en todo el Ecuador, en especial en las zonas donde sobrepasan los 2000msnm ya que es allí donde se genera más cantidad de escorrentía y consecuentemente gran parte de los eventos de crecida que son constantes en los cantones involucrados. Esto con la finalidad de conocer el tipo de evento extremo que puede provocarse en un área determinada.
- Se recomienda el uso de al menos seis distribuciones de probabilidad para la construcción de las curvas IDF ya que así se puede escoger la función que mejor se ajuste y de mejores resultados en el análisis.
- Se recomienda impulsar investigaciones hidrometeorológicas e instalación de estaciones meteorológicas en la cuenca del río Paute y en todo el territorio nacional, pues esto permitiría conocer el comportamiento de las precipitaciones y la forma como se presentan; se recomienda empezar con investigaciones consiguientes que permitan profundizar y completar la información obtenida por la investigación realizada.
- La aplicación de herramientas informáticas para el procesamiento de datos como Rstudio nos llevan a obtener resultados de mejor calidad en un menor tiempo, por eso es importante conocer y manejar estas herramientas E-Learning.
- Se recomienda a profesores y alumnos aplicar las metodologías planteadas en el manejo de datos hidrológicos ya que éstas facilitan los procesos estadísticos, dejando de ser tediosos como los procesos tradicionales.

BIBLIOGRAFÍA

Aparicio M., F.J. 1997. *Fundamentos de Hidrología de Superficie*. Limusa Grupo Noriega. México. 303 p.

Basile, P. A. (2017). *Mediciones Hidrológicas*.

Beguería, S. (2002). *Revisión de métodos paramétricos para la estimación de la probabilidad de ocurrencia de eventos extremos en Climatología e Hidrología: El uso de series de excedencias y su comparación con las series de máximos anuales*.

Béjar, M. V. (2004). *Hidrología*. Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Cabrera, J. (2012). Calibración de modelos hidrológicos. *Instituto para la Mitigación de los Efectos del Fenómeno El Niño, Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Civil, Perú*.

Cortes Montoya, M. M. (s. f.). *Cálculo de Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia Empleando Métodos Estadísticos y Probabilísticos sobre Información Pluviográfica de las Estaciones el Carbón y Sena Correspondientes al Área Operativa de la Red Meteorológica del IDEAM en el Departamento de Boyacá*.

Duque-Sarango, P., Patiño, D. M., & López, X. E. (2019). Evaluación del sistema de modelamiento hidrológico HEC-HMS para la simulación hidrológica de una microcuenca andina tropical. *Información tecnológica*, 30(6), 351-362.

en Poblalori, M., & Local, D. (s. f.). " *LA CUENCA DEL RIO PAUTE: DIAGNOSTICO Y PROPUESTA DE MANEJO INTEGRAL. POLITICAS DE DESARROLLO AGROPECUARIO*.

Fornaguera, A. D., León, A. P., & Beltrán, J. R. (2008). Medición de la intensidad de la lluvia empleando el pluviógrafo P-2 automatizado. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 29(1), 36-44.

Guarín Giraldo, G. W., & Poveda, G. (2013). VARIABILIDAD ESPACIAL Y TEMPORAL DEL ALMACENAMIENTO DE AGUA EN EL SUELO EN COLOMBIA. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 37(142), 89-113.

Gutiérrez-López, A., Barragán-Regalado, R., Gutiérrez-López, A., & Barragán-Regalado, R. (2019). Ajuste de curvas IDF a partir de tormentas de corta duración. *Tecnología y ciencias del agua*, 10(6), 1-24. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2019-06-01>

INAMHI, I. (2015). Determinación de ecuaciones para el cálculo de intensidades máximas de precipitación. *Instituto Nacional De Meteorología E Hidrología, Determinación De Ecuaciones Para El Cálculo De Intensidades Máximas De Precipitación*, 283.

López-Roldán, P., & Fachelli, S. (2015). Software para el análisis de datos: SPSS, R y SPAD. *Metodología de la investigación social cuantitativa*, cap-III.

Ordóñez, A. S. A. (2020). *Estudio de la variabilidad climática en un transecto andino-tropical en el austro ecuatoriano mediante la identificación de teleconexiones*.

Pizarro, R., Sangüesa, C., & Martínez, E. (2003). Módulo 2 Curvas Intensidad Duración Frecuencia. *Sociedad Estándares de Ingeniería Para Aguas Y Suelos LTDA*.

Sánchez Sánchez, D., & González Ramos, C. C. (2019). *Pluviómetro digital: Sistema de monitoreo de lluvias*.

Segerer, C., & Villodas, R. (2006). Hidrología I. *Universidad Nacional de Cuyo, Argentina*.

Smith Quintero, R. A., & Campuzano Ochoa, C. P. (s. f.). Análisis de ajuste de modelos de regresión en hidrología. *Escuela de Geociencias y Medio Ambiente*.

Valiente, Ó. M. (2001). Sequía: Definiciones, tipologías y métodos de cuantificación. *Investigaciones Geográficas (España)*, 26, 59-80.

Vargas, L. E., & Mesa-Fúquen, E. (2021). *Introducción al análisis de datos con RStudio*.

Zamora, D. (2023). *IDFtool* [R]. <https://github.com/dazamora/IDFtool> (Original work published 2016)

Zúñiga, R., Muñoz, E., & Arumí, J. L. (2012). *Estudio de los procesos hidrológicos de la cuenca del Río Diguillín, Obras y proyectos, 11, 69–78.*

ANEXOS

1. Intensidades máximas presentadas por el INAMHI

1.1. Gualaceo

T (min)	Período de Retorno T (años)					
	2	5	10	25	50	100
5	91.8	107.8	121.8	143.0	161.5	182.3
10	68.0	79.9	90.2	105.9	119.6	135.0
15	57.0	67.0	75.6	88.8	100.3	113.3
20	50.4	59.1	66.8	78.4	88.5	100.0
30	41.4	49.0	55.7	66.0	74.9	85.2
60	25.7	30.5	34.6	41.0	46.6	53.0
120	16.2	18.9	21.1	24.6	27.5	30.9
360	5.7	6.6	7.4	8.6	9.6	10.8
1440	1.5	1.8	2.0	2.3	2.6	2.9

INTENSIDAD MAXIMA (mm/h)

1.2. El Labrado

T (min)	Período de Retorno T (años)					
	2	5	10	25	50	100
5	53.5	66.5	78.4	97.4	114.8	135.4
10	37.6	46.8	55.1	68.5	80.8	95.2
15	32.6	39.4	45.5	54.9	63.3	73.1
20	27.4	33.1	38.2	46.1	53.2	61.4
30	21.4	25.9	29.8	36.0	41.6	48.0
60	15.2	17.6	19.8	23.0	25.8	28.9
120	8.7	10.1	11.3	13.2	14.8	16.6
360	3.6	4.2	4.7	5.5	6.1	6.9
1440	1.2	1.4	1.5	1.8	2.0	2.2

INTENSIDAD MAXIMA (mm/h)

2. Código de programación utilizado en este trabajo

Cabe destacar que el código es básicamente el mismo para cada una de las 12 estaciones analizadas en esta investigación, lo que varía son las ubicaciones de cada archivo y la cantidad de archivos en la que está contenida la información.

A continuación, se muestra el código de programación para la estación EL LABRADO:

```
#Librerías utilizadas
library(dplyr)

library(lubridate)

#COMPLETAR INFORMACIÓN ANTIGUA DE ETAPA A SERIES DE 5 MINUTOS
(2001-12-01 06:35:0; 2013-11-11 17:55:00)

dat_inst<- read.delim("C:/Users/Stalin/Desktop/TESIS/MODELACIÓN EN R/CURVAS
IDF/EL LABRADO/El Labrado.txt", header=FALSE)

dat_inst[,1]<-dmy_hms(dat_inst[,1]) #Se define como fecha

#Modificar nombres de columnas
colnames(dat_inst) = c("Fecha","Precipitación")

#Se identifican las fechas de Inicio y Final de la serie de datos
first_date <- min(dat_inst$Fecha) #Primer dato
last_date <- max(dat_inst$Fecha) #Último dato

#Se redondea a múltiplos de 5min
inicio <- ymd_hms("2001-12-01 06:35:00") #Primera fecha de lectura redondeada
a 5 min.

final <- ceiling_date(last_date, "5 minutes") #Última fecha de lectura
redondeada a 5 min.

full_dates <- data.frame(
Fecha = seq(inicio, final, "5 min") #Se completa la serie cada 5 min.
)

datos_para_completar <- full_dates %>% mutate(Precipitación = 0) #Se asigna un
valor de "0" en precipitación a cada dato creado.

#Se unen los datos cada 5 min con precipitación = 0, a los datos crudos
```

```

Tabla_1 <- merge(x = dat_inst, y = datos_para_completar, all = TRUE)
#DATOS DE LA SEGUNDA OBSERVACIÓN (2015-12-22 12:10:00 ;
2017-01-01 00:00:00)
dat_inst2 <- read.delim("C:/Users/Stalin/Desktop/TESIS/InformacionNueva/
Datos_ETAPA/(10)El_Labrado/Labrado/EILabradoM_min5 (2).dat", skip = 4,
header=FALSE, sep = ",")
dat_inst2 = dat_inst2[,c(1,8)] #Seleccionar columnas de interés
dat_inst2 = na.omit(dat_inst2) #Se eliminan valores NA generados por defecto
para los espacios vacíos.
dat_inst2[,1]<-ymd_hms(dat_inst2[,1]) #Se define como fecha
#Modificar nombres de columnas
colnames(dat_inst2) = c("Fecha","Precipitación")
#Se unen los datos creados a los datos anteriores
Tabla_2 <- rbind(Tabla_1, dat_inst2)
#DATOS DE LA TERCERA OBSERVACIÓN (2017-01-17 15:45:00 ;
2019-01-22 12:10:00)
dat_inst3<- read.delim("C:/Users/Stalin/Desktop/TESIS/InformacionNueva/
Datos_ETAPA/(10)El_Labrado/Loggernet/EILabradoM_min5.dat", skip = 4,
header=FALSE, sep = ',')
#Seleccionar columnas de interés
dat_inst3 = dat_inst3[,c(1,8)]
dat_inst3 = na.omit(dat_inst3) #Se eliminan valores NA generados por defecto
para los espacios vacíos.
dat_inst3[,1]<-ymd_hms(dat_inst3[,1]) #Se define como fecha
#Modificar nombres de columnas
colnames(dat_inst3) = c("Fecha","Precipitación")
#Se unen los datos creados a los datos anteriores
Tabla_3 <- rbind(Tabla_2, dat_inst3)
length(Tabla_3$Fecha)
#PRECIPITACIÓN ANUAL
Tabla_3$Año = year(Tabla_3$Fecha)

```

```

PrecipitaciónAnual = Tabla_3 %>%
group_by(Año) %>%
summarise(Precip. = sum(Precipitación))
#EXPORTO DATOS A EXCEL
write.csv(PrecipitaciónAnual,"PrecipitaciónAnual.csv")
#PRECIPITACIÓN MENSUAL
library(foqat)
df_mensual = trs(df = Tabla_3, bkip = "month", fun = 'sum')
df_mensual = na.omit(df_mensual) #Se eliminan valores NA generados por defecto
para los espacios vacíos.
#EXPORTO DATOS A EXCEL
write.csv(df_mensual,"Precipitaciones.csv")
#DATOS POR AÑO
#Sacamos la cantidad de datos para cada año
Tabla_3$Año = year(Tabla_3$Fecha)
DatosAnuales = Tabla_3 %>%
group_by(Año) %>%
summarise(Núm_Datos = length(Precipitación))
#EXPORTO DATOS A EXCEL
write.csv(DatosAnuales,"DatosAnual.csv")
#ACUMULACIONES DE TIEMPO
#5 minutos
df_5mins = trs(df = Tabla_3, bkip = "5 mins", fun = 'sum')
df_5mins = na.omit(df_5mins) #Se eliminan valores NA generados por defecto
para los espacios vacíos.
df_5mins$Año = year(df_5mins$Fecha)
Acum5min = df_5mins %>%
group_by(Año) %>%
summarise(Maxima= max(Precipitación))
#10 minutos
df_10mins = trs(df = Tabla_3, bkip = "10 mins", fun = 'sum')

```

```

df_10mins = na.omit(df_10mins) #Se eliminan valores NA generados por defecto
para los espacios vacíos.
df_10mins$Año = year(df_10mins$Fecha)
Acum10min = df_10mins %>%
group_by(Año) %>%
summarise(Maxima= max(Precipitación))
#15 minutos
df_15mins = trs(df = Tabla_3, bkip = "15 mins", fun = 'sum')
df_15mins = na.omit(df_15mins) #Se eliminan valores NA generados por defecto
para los espacios vacíos.
df_15mins$Año = year(df_15mins$Fecha)
Acum15min = df_15mins %>%
group_by(Año) %>%
summarise(Maxima= max(Precipitación))
summary(Acum15min)
#20 minutos
df_20mins=trs(df = Tabla_3, bkip = "20 mins", fun = 'sum')
df_20mins = na.omit(df_20mins) #Se eliminan valores NA generados por defecto
para los espacios vacíos.
df_20mins$Año = year(df_20mins$Fecha)
Acum20min = df_20mins %>%
group_by(Año) %>%
summarise(Maxima= max(Precipitación))
#30 minutos
df_30mins = trs(df = Tabla_3, bkip = "30 mins", fun = 'sum')
df_30mins = na.omit(df_30mins) #Se eliminan valores NA generados por defecto
para los espacios vacíos.
df_30mins$Año = year(df_30mins$Fecha)
Acum30min = df_30mins %>%
group_by(Año) %>%
summarise(Maxima= max(Precipitación))

```

```

summary(Acum30min)
#60 minutos
df_60mins=trs(df = Tabla_3, bkip = "60 mins", fun = 'sum')
df_60mins = na.omit(df_60mins) #Se eliminan valores NA generados por defecto
para los espacios vacíos.
df_60mins$Año = year(df_60mins$Fecha)
Acum60min = df_60mins %>%
group_by(Año) %>%
summarise(Maxima= max(Precipitación))
summary(Acum60min)
#120 minutos
df_120mins=trs(df = Tabla_3, bkip = "120 mins", fun = 'sum')
df_120mins = na.omit(df_120mins) #Se eliminan valores NA generados por defecto
para los espacios vacíos.
df_120mins$Año = year(df_120mins$Fecha)
Acum120min = df_120mins %>%
group_by(Año) %>%
summarise(Maxima= max(Precipitación))
summary(Acum120min)
#360 minutos
df_360mins=trs(df = Tabla_3, bkip = "360 mins", fun = 'sum')
df_360mins = na.omit(df_360mins) #Se eliminan valores NA generados por defecto
para los espacios vacíos.
df_360mins$Año = year(df_360mins$Fecha)
Acum360min = df_360mins %>%
group_by(Año) %>%
summarise(Maxima= max(Precipitación))
summary(Acum360min)
#SE AGRUPAN LOS RESULTADOS DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA ANUAL
PRECIPITACIÓN_MAX_ANUAL <- data.frame(Acum5min[,1], #se añade columna inicial
para definir el año

```

```

Acum5min[,2],
Acum10min[,2],
Acum15min[,2],
Acum20min[,2],
Acum30min[,2],
Acum60min[,2],
Acum120min[,2],
Acum360min[,2]
)
colnames(PRECIPITACIÓN_MAX_ANUAL)<-c("YEAR",5,10,15,20,30,60,120,360) #Se
cambian los nombres de las columnas
#A continuación se transforman las acumulaciones de precipitación a Intensidad
for(i in 1:num_ano){
PRECIPITACIÓN_MAX_ANUAL[i,2]<-PRECIPITACIÓN_MAX_ANUAL[i,2]*60/5
PRECIPITACIÓN_MAX_ANUAL[i,3]<-PRECIPITACIÓN_MAX_ANUAL[i,3]*60/10
PRECIPITACIÓN_MAX_ANUAL[i,4]<-PRECIPITACIÓN_MAX_ANUAL[i,4]*60/15
PRECIPITACIÓN_MAX_ANUAL[i,5]<-PRECIPITACIÓN_MAX_ANUAL[i,5]*60/20
PRECIPITACIÓN_MAX_ANUAL[i,6]<-PRECIPITACIÓN_MAX_ANUAL[i,6]*60/30
PRECIPITACIÓN_MAX_ANUAL[i,7]<-PRECIPITACIÓN_MAX_ANUAL[i,7]*60/60
PRECIPITACIÓN_MAX_ANUAL[i,8]<-PRECIPITACIÓN_MAX_ANUAL[i,8]*60/120
PRECIPITACIÓN_MAX_ANUAL[i,9]<-PRECIPITACIÓN_MAX_ANUAL[i,9]*60/360
}
#CONTROL DE CALIDAD DE DATOS
#Aquí básicamente se compara si la columna de intensidad es mayor a la del periodo anterior se toma ese
valor, pero si es mayor se queda su propio valor.
for(i in 1:num_ano){
PRECIPITACIÓN_MAX_ANUAL[i,3]<-if (PRECIPITACIÓN_MAX_ANUAL[i,3] >
PRECIPITACIÓN_MAX_ANUAL[i,2]){
PRECIPITACIÓN_MAX_ANUAL[i,3]<-PRECIPITACIÓN_MAX_ANUAL[i,2]
}else{PRECIPITACIÓN_MAX_ANUAL[i,3]<-PRECIPITACIÓN_MAX_ANUAL[i,3]}
PRECIPITACIÓN_MAX_ANUAL[i,4]<-if (PRECIPITACIÓN_MAX_ANUAL[i,4] >

```

```

PRECIPITACIÓN_MAX_ANUAL[i,3]){
PRECIPITACIÓN_MAX_ANUAL[i,4]<-PRECIPITACIÓN_MAX_ANUAL[i,3]
}else{PRECIPITACIÓN_MAX_ANUAL[i,4]<-PRECIPITACIÓN_MAX_ANUAL[i,4]}
PRECIPITACIÓN_MAX_ANUAL[i,5]<-if (PRECIPITACIÓN_MAX_ANUAL[i,5] >
PRECIPITACIÓN_MAX_ANUAL[i,4]){
PRECIPITACIÓN_MAX_ANUAL[i,5]<-PRECIPITACIÓN_MAX_ANUAL[i,4]
}else{PRECIPITACIÓN_MAX_ANUAL[i,5]<-PRECIPITACIÓN_MAX_ANUAL[i,5]}
PRECIPITACIÓN_MAX_ANUAL[i,6]<-if (PRECIPITACIÓN_MAX_ANUAL[i,6] >
PRECIPITACIÓN_MAX_ANUAL[i,5]){
PRECIPITACIÓN_MAX_ANUAL[i,6]<-PRECIPITACIÓN_MAX_ANUAL[i,5]
}else{PRECIPITACIÓN_MAX_ANUAL[i,6]<-PRECIPITACIÓN_MAX_ANUAL[i,6]}
PRECIPITACIÓN_MAX_ANUAL[i,7]<-if (PRECIPITACIÓN_MAX_ANUAL[i,7] >
PRECIPITACIÓN_MAX_ANUAL[i,6]){
PRECIPITACIÓN_MAX_ANUAL[i,7]<-PRECIPITACIÓN_MAX_ANUAL[i,6]
}else{PRECIPITACIÓN_MAX_ANUAL[i,7]<-PRECIPITACIÓN_MAX_ANUAL[i,7]}
PRECIPITACIÓN_MAX_ANUAL[i,8]<-if (PRECIPITACIÓN_MAX_ANUAL[i,8] >
PRECIPITACIÓN_MAX_ANUAL[i,7]){
PRECIPITACIÓN_MAX_ANUAL[i,8]<-PRECIPITACIÓN_MAX_ANUAL[i,7]
}else{PRECIPITACIÓN_MAX_ANUAL[i,8]<-PRECIPITACIÓN_MAX_ANUAL[i,8]}
PRECIPITACIÓN_MAX_ANUAL[i,9]<-if (PRECIPITACIÓN_MAX_ANUAL[i,9] >
PRECIPITACIÓN_MAX_ANUAL[i,8]){
PRECIPITACIÓN_MAX_ANUAL[i,9]<-PRECIPITACIÓN_MAX_ANUAL[i,8]
}else{PRECIPITACIÓN_MAX_ANUAL[i,9]<-PRECIPITACIÓN_MAX_ANUAL[i,9]}
}
#EXPORTO DATOS A EXCEL
write.csv(PRECIPITACIÓN_MAX_ANUAL,"INTENSIDAD.csv")
#CURVAS IDF
library(IDFtool)
EILabrado <- as.matrix.data.frame(PRECIPITACIÓN_MAX_ANUAL)
Test.idftool <- IDFcurve(Data = EILabrado, Station='EILabrado', Duration =
TRUE,

```

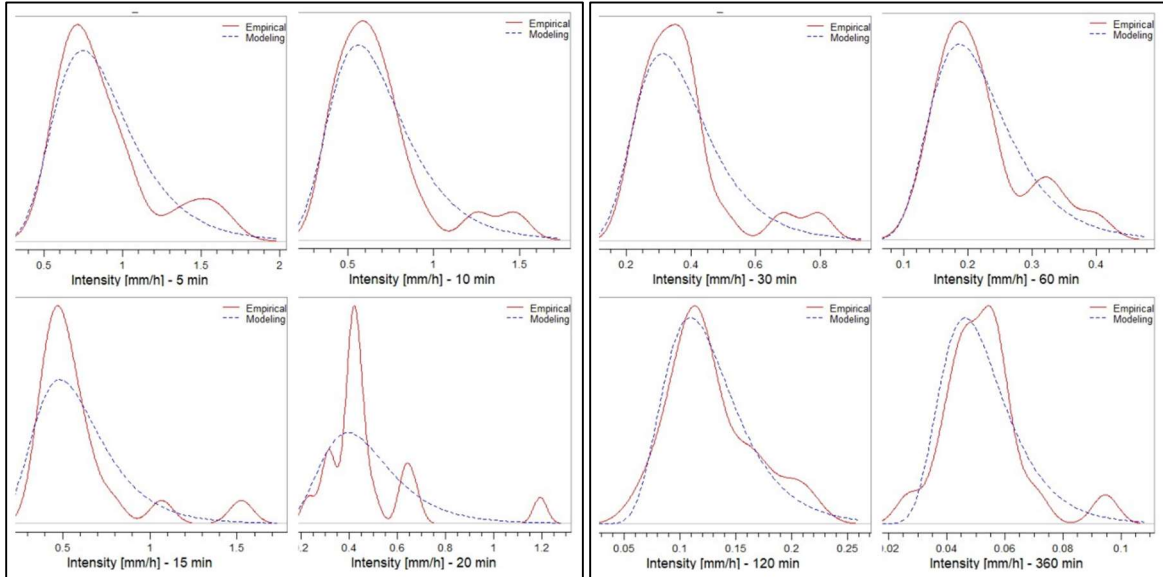
```

Periods = FALSE, Type = "gumbel", M.fit = "Lmoments",
Plot = 13, Strategy = 1, logaxe = "y", CI = FALSE,
Cipdf = TRUE, iter = 50, goodtest = TRUE,
Resolution = 600, SAVE = FALSE, name = TRUE)
DATOS <- PRECIPITACIÓN_MAX_ANUAL
#BONDAD DE AJUSTE
library(fitdistrplus)
#Dist Normal
Normal <- fitdist(DATOS$`360`, "norm")
Prueba_Bondad <- gofstat(Normal)
Prueba_Bondad$chisqpvalue
#Dist Gamma
Gammaprueba <- fitdist(DATOS$`360`, "gamma")
Prueba_Bondad2 <- gofstat(Gammaprueba)
Prueba_Bondad2$chisqpvalue
#Dist Gumbel
dgumbel <- function(x, a, b) 1/b*exp((a-x)/b)*exp(-exp((a-x)/b))
pgumbel <- function(q, a, b) exp(-exp((a-q)/b))
qgumbel <- function(p, a, b) a-b*log(-log(p))
Gumbel <- fitdist(DATOS$`360`, "gumbel", start = list(a=10, b=10))
Prueba_Bondad3 <- gofstat(Gumbel)
Prueba_Bondad3$chisqpvalue

```

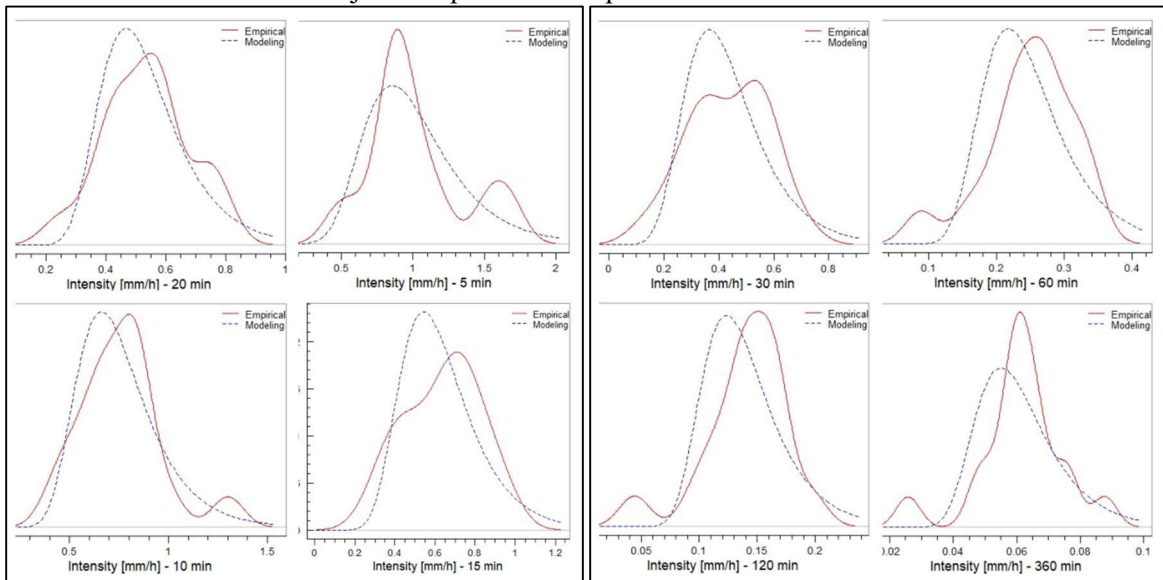
3. Ajuste de probabilidad con la distribución de Gumbel

Ajuste de probabilidad para la estación CANCAN SOLDADOS



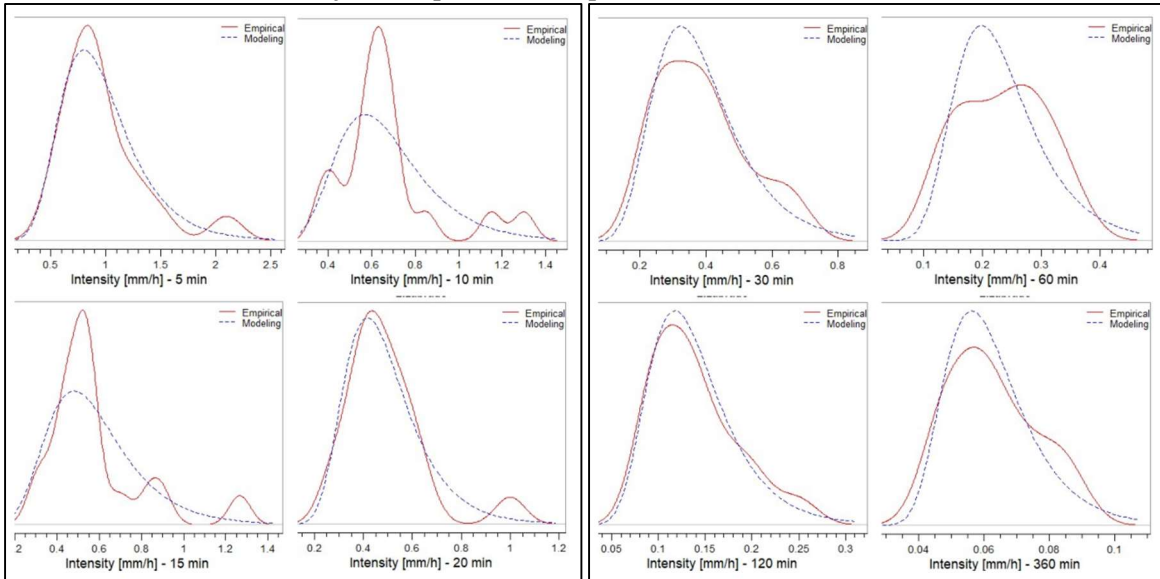
Fuente: *Elaboración propia*

Ajuste de probabilidad para la estación CHANLUD



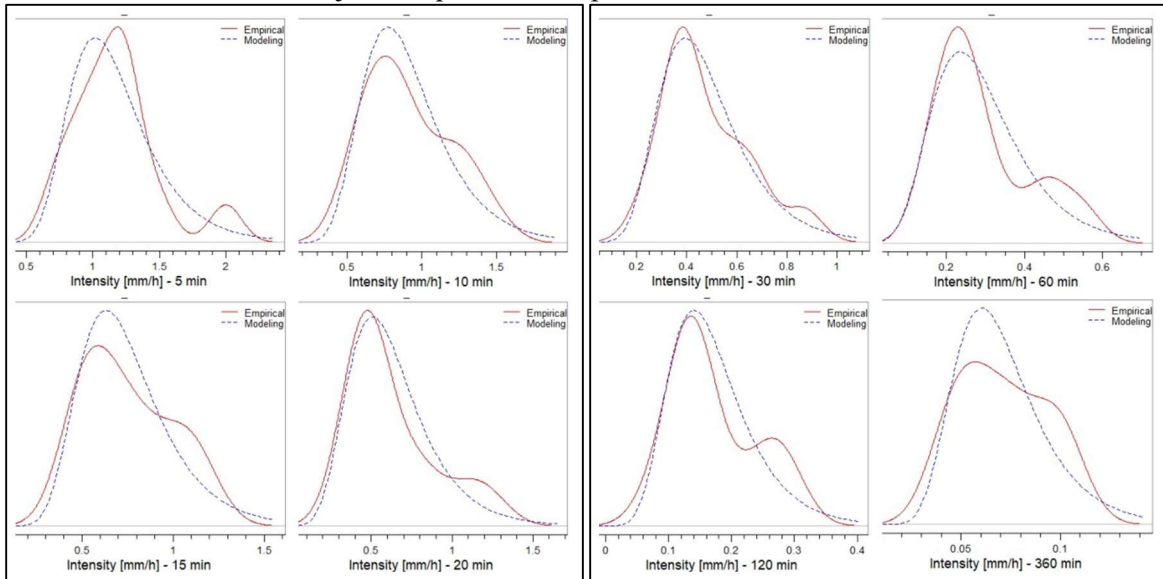
Fuente: *Elaboración propia*

Ajuste de probabilidad para la estación EL LABRADO



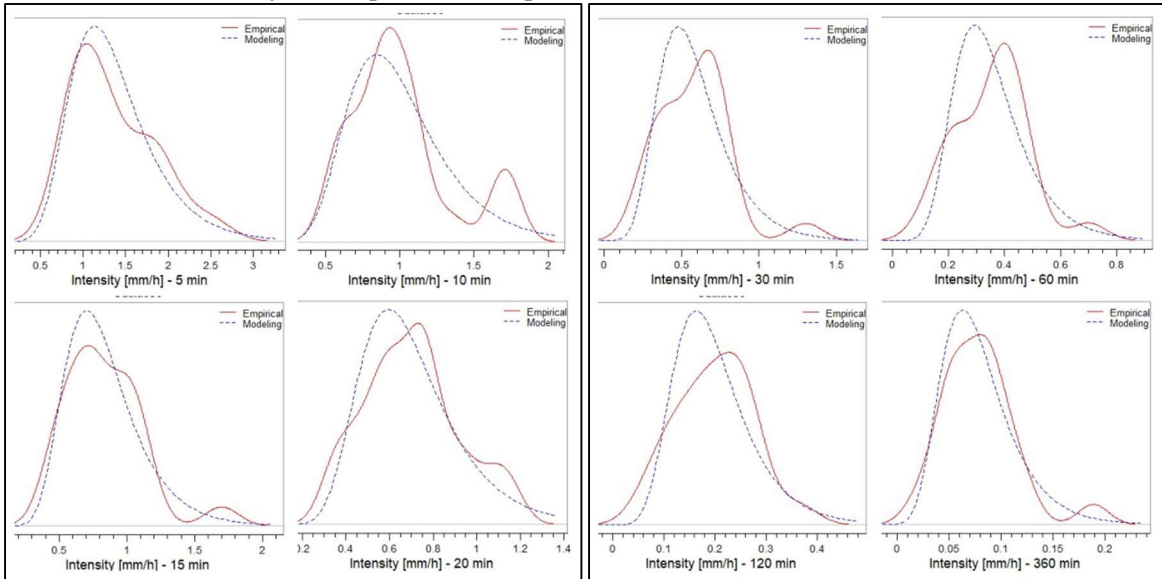
Fuente: *Elaboración propia*

Ajuste de probabilidad para la estación EL PORTETE



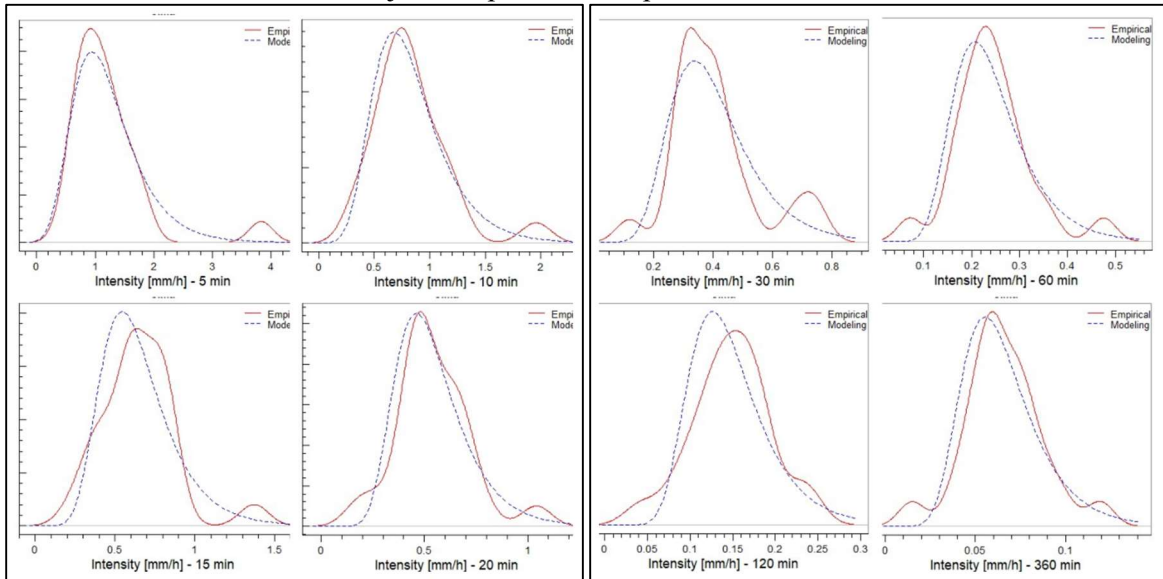
Fuente: *Elaboración propia*

Ajuste de probabilidad para la estación GUALACEO DJ PAMAR



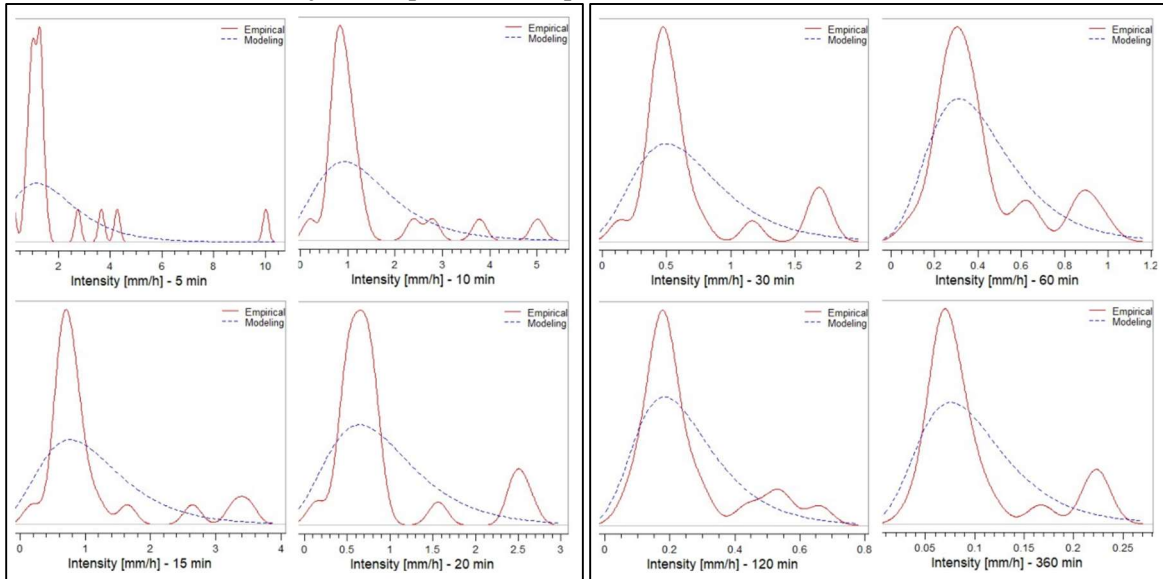
Fuente: *Elaboración propia*

Ajuste de probabilidad para la estación JIMA



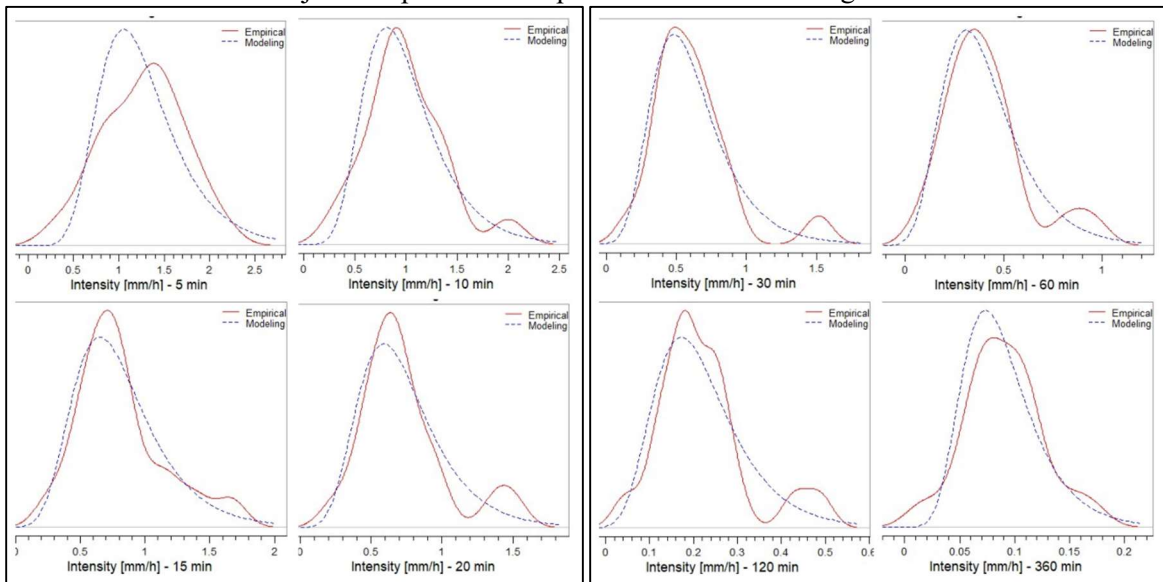
Fuente: *Elaboración propia*

Ajuste de probabilidad para la estación LA ESMERALDA



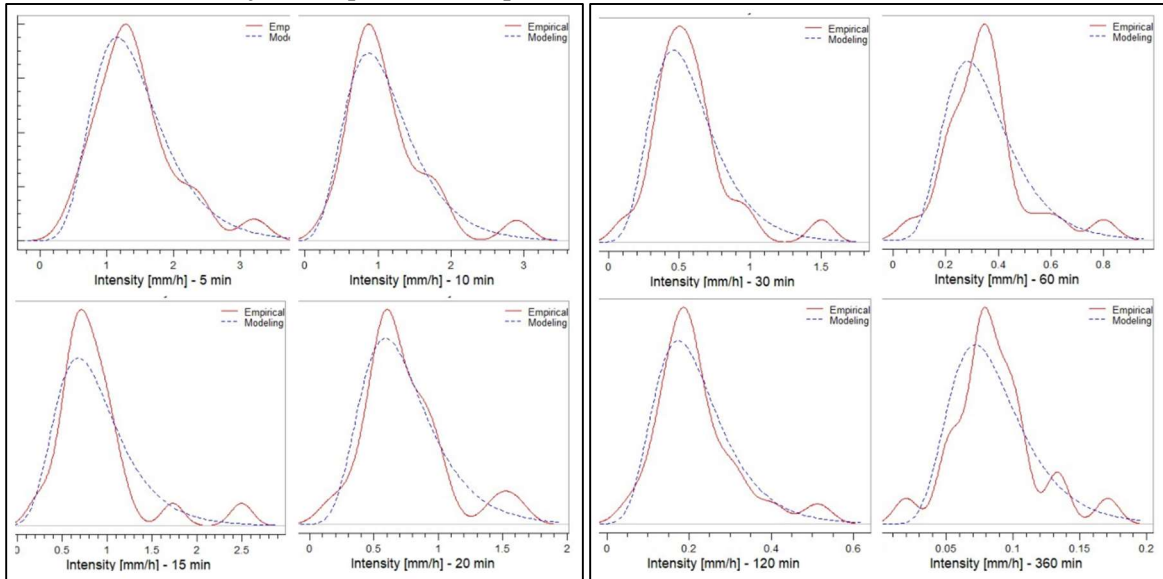
Fuente: *Elaboración propia*

Ajuste de probabilidad para la estación Machángara



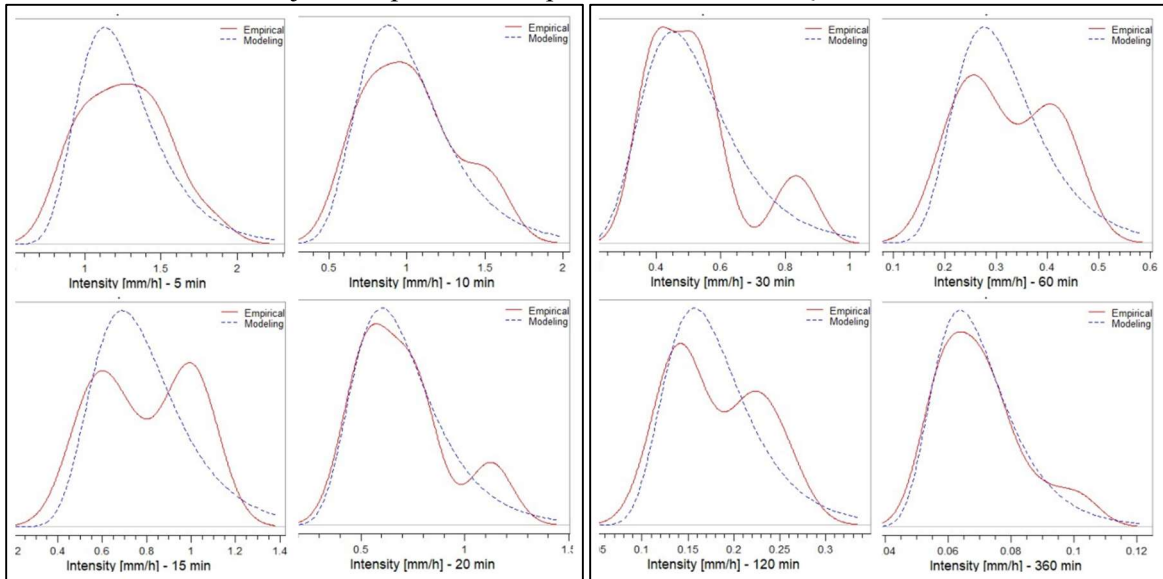
Fuente: *Elaboración propia*

Ajuste de probabilidad para la estación MATADERO EN SAYAUSI



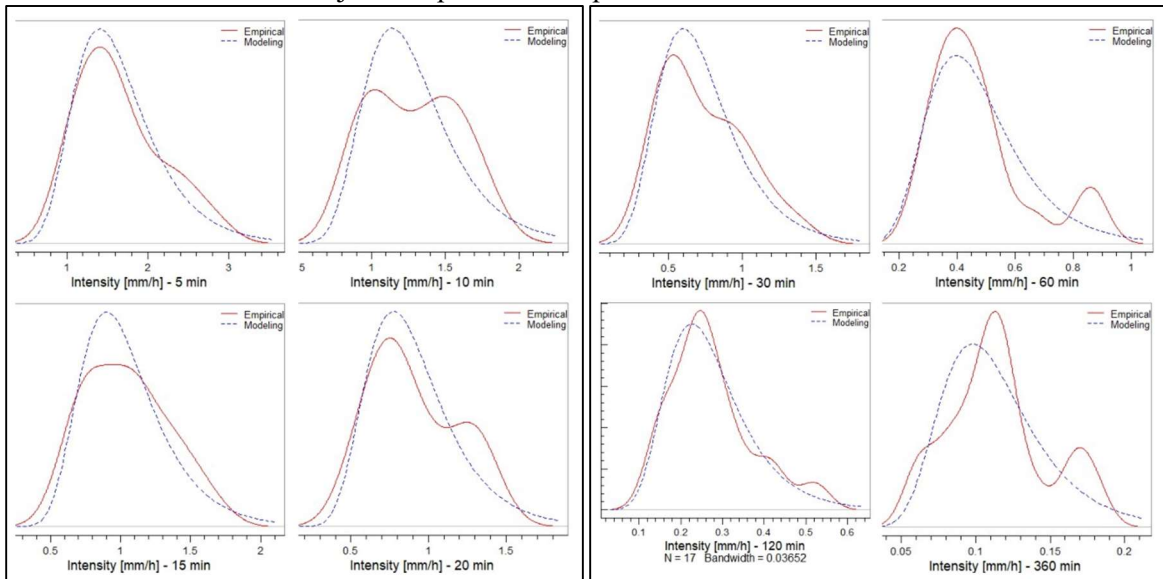
Fuente: *Elaboración propia*

Ajuste de probabilidad para la estación TARQUI DJ CUMBE



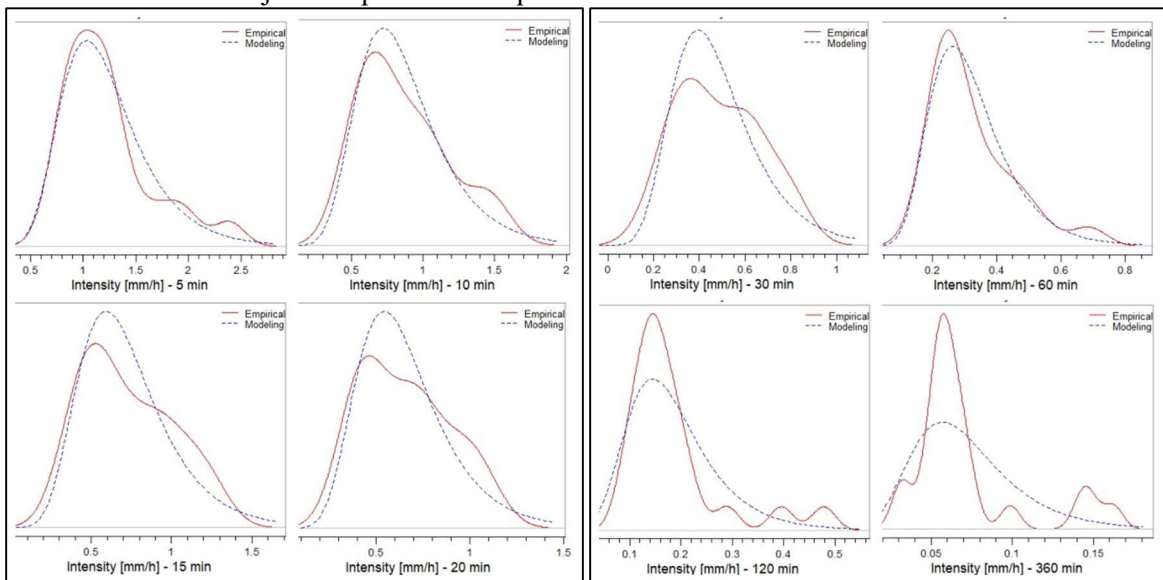
Fuente: *Elaboración propia*

Ajuste de probabilidad para la estación UCUBAMBA



Fuente: *Elaboración propia*

Ajuste de probabilidad para la estación YANUNCAY EN PUCAN



Fuente: *Elaboración propia*

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Nosotros, **Luis David Yanza Lituma** y **Jefferson Stalin Verdugo González** portadores de las cédulas de ciudadanía N.º 010555983-7 y 140097383-8. En calidad de autores y titulares de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación “**Uso de E-Learning para generar curvas IDF en la Cuenca Alta del río Paute**” de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconocemos a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizamos a la Universidad para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 28 de marzo de 2023.

F: 

Luis David Yanza Lituma

C.I.: 010555983-5

F: 

Jefferson Stalin Verdugo González

C.I.: 140097383-8